

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:
EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN EL PUNTO DE CAPTACIÓN
DE AGUA POTABLE DEL RÍO LELIA - CANTÓN SANTO DOMINGO.

AUTOR:
LUIS FELIPE COBOS RECALDE

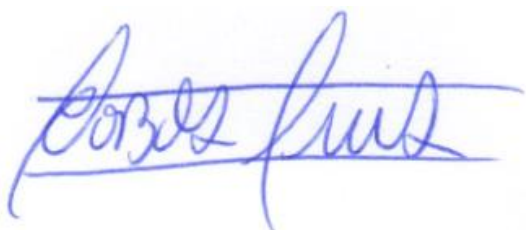
TUTOR:
EDWIN FABIÁN BERSOSA VACA

Quito, enero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Luis Felipe Cobos Recalde, con documento de identificación N° 1718631607, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: **EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN EL PUNTO DE CAPTACIÓN DE AGUA POTABLE DEL RÍO LELIA - CANTÓN SANTO DOMINGO**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra ante citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Luis Felipe Cobos Recalde
C.I. 1718631607

Quito, enero del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo experimental, **EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN EL PUNTO DE CAPTACIÓN DE AGUA POTABLE DEL RÍO LELIA - CANTÓN SANTO DOMINGO**, realizado por Luis Felipe Cobos Recalde, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2019



Edwin Fabián Bersosa Vaca

C.I. 1709204141

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Olfrina De Lourdes Recalde y Nelson Patricio Cobos, a mi hermano Patricio Andrés Cobos Recalde y, mi Padrastro German Eduardo Mora por nunca perder la Fe en mí, por todos los valores y enseñanzas que me han servido para ser una persona de bien, honesta y responsable ya que sin ellos no hubiera completado una meta más en mi vida. Siempre voy estar agradecido con ellos porque me dieron la mejor herencia que se les puede dar a los hijos es el conocimiento y eso no se pueda quitar ni vender.

A mis tíos Isabel Cobos Bolaños y Cesar Carrera por brindarme su apoyo durante todo este proceso universitario y acobijarme como uno de sus hijos, por sus cuidados y enseñanzas las que fueron un pilar fundamental en toda mi vida universitaria, por lo que estaré eternamente agradecido.

Luis Felipe Cobos Recalde

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fuerza y superar todas las dificultades que se me ha presentado durante mi vida universitaria.

A mis Padres, a mi Hermano y a mi Padrastro por el todo el apoyo economico y emocional durante mi carrera universitaria.

A mi Tutor de proyecto Dr. Edwin Fabián Bersosa Vaca, por su guía y experiencia para lograr desarrollar este tema de la mejor manera.

Al Personal Tecnico de la EPMAPA-SD, al laboratorio de Microbiología de la Universidad Politécnica Salesiana que me brindaron su apoyo durante la elaboración del proyecto.

Luis Felipe Cobos Recalde

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	6
2.1	Objetivo general	6
2.2	Objetivos específicos.....	6
3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
3.1	La cuenca hidrográfica del río Lelia.....	7
3.2	Recursos Hídricos.....	10
3.2.1	Calidad de agua	12
3.2.1.1	Calidad hidrográfica	15
3.2.1.2	Calidad biológica.....	17
3.2.1.3	Calidad de agua con análisis fisicoquímicos	23
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
4.1	MATERIALES.....	35
4.1.1	De campo.....	35
4.1.2	Laboratorio	35
4.2	MÉTODOS.....	36
4.2.1	Zona de estudio.....	36
4.2.2	Fase de campo	39
4.2.2.1	Técnica de muestreo de bioindicadores	39
4.2.2.2	Muestreo de macroinvertebrados.....	40
4.2.2.3	Toma de muestra de agua	41
4.2.3	Fase de laboratorio	42
4.2.3.1	Análisis fisicoquímicos.....	42
4.2.3.2	Limpieza de macroinvertebrados.....	43
4.2.3.3	Identificación taxonómica y conteo de macroinvertebrados	43
4.2.4	Fase de oficina.....	44
4.2.4.1	Realización de mapas	44
4.2.4.2	Índice de calidad de agua (IQA).....	45
4.2.5	Diseño experimental.....	46
4.2.5.1	Población y muestra.....	47
4.2.5.2	Variables	47
4.2.5.3	Comparación entre índices IQA y BMWP/COL.....	51

5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
5.1	RESULTADOS	53
5.1.1	Análisis fisicoquímicos	53
5.1.2	Cálculo índice IQA.....	55
5.1.3	Cálculo del BMWP / COL	56
5.2	DISCUSIÓN.....	58
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.1	Conclusiones	61
6.2	Recomendaciones	63
7	BIBLIOGRAFÍA.....	65
8	ANEXOS.....	73

Índice de Tablas

Tabla 1. Distribución de Unidades Hidrográficas en el nivel 1	8
Tabla 2. Distribución de las Unidades Hidrográficas en el Ecuador	8
Tabla 3. Método BMWP / COL Interpretación	23
Tabla 4. Valor de acuerdo con el IQA	32
Tabla 5. Equipos, materiales utilizados en campo	35
Tabla 6. Materiales para análisis químicos	36
Tabla 7. Equipos, materiales utilizados en laboratorio	36
Tabla 8. Coordenadas UTM, altitud y descripción de cada punto de muestreo.....	37
Tabla 9. Metodologías para los parámetros fisicoquímicos.....	42
Tabla 10. Factores de ponderación de parámetros fisicoquímicos	46
Tabla 11. Rango Índice IQA	46
Tabla 12. Variables y parámetros físicos, químicos, biológicos e hidrológicos	48
Tabla 13. Valores de calidad de IQA y BMWP/COL.....	51
Tabla 14. Comparación entre valores de calidad entre índice IQA y BMWP/COL..	52
Tabla 15. Resultados de los análisis fisicoquímicos de la calidad de agua.....	53
Tabla 16. Cálculo del IQA	55
Tabla 17. Abundancia de Macroinvertebrados	57

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de las Cuencas Hidrográficas de Santo Domingo	4
Figura 2. Puntos para la toma de muestras para el análisis de bioindicadores y análisis fisicoquímico en el Río Lelia	5
Figura 3. Imagen en relieve de los puntos de muestreo	37
Figura 4. Medición de parámetros	49
Figura 5. Comparación Límites de IQA.....	50
Figura 6. Informe de resultados Vs límites permisibles.....	50
Figura 7. Relación entre índice IQA y BMWP/COL.....	51
Figura 8. Zona de Muestreo	75
Figura 9. Zona del Río Lelia	76
Figura 10. Zona de Capacitación EPMAPA-SD.....	77
Figura 11. Materiales de Campo	78

Figura 12. Muestreo Realizado	79
Figura 13. Muestras.....	80
Figura 14. Materiales de limpieza e identificación de macroinvertebrados.....	81
Figura 15. Limpieza de macroinvertebrados.....	82
Figura 16. Identificación de macroinvertebrados.....	83
Figura 17. Foto de los especímenes de Macroinvertebrados recolectados	84
Figura 18. Phyllum.....	85
Figura 19. Phyllum.....	86
Figura 20. Phyllum.....	87
Figura 21. Análisis fisicoquímicos PM1.....	89
Figura 22. Análisis fisicoquímicos PM2.....	90
Figura 23. Análisis fisicoquímicos PM3.....	91

Índice de Anexos

Anexo 1 Mapa de Calidad de Agua con Índice IQA en el punto de captación del Río Lelia	73
Anexo 2 Mapa de Calidad de Agua con Índice BMWP / COL en el punto de captación del Río Lelia.....	74
Anexo 3 Registro fotográfico.....	75
Anexo 4 Fotografía de macroinvertebrados	84
Anexo 5 Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP / COL (Roldán, 2013).	87
Anexo 6 Análisis fisicoquímicos	89

RESUMEN

La evaluación de la calidad del agua en el punto de captación de agua potable en el río Lelia, ubicado en la Parroquia Rural Alluriquín, del cantón Santo Domingo, conto con tres puntos de monitoreo localizados en sectores estratégicos del objeto de análisis (antes, durante y después). Puntos de los cuales se obtuvieron muestras compuestas para realizar los análisis fisicoquímicos y biológicos, a cada caso.

Para el cálculo del índice IQA (Índice de Calidad del Agua) se utilizaron los valores de pH, temperatura (°C), sólidos totales (mg/l), oxígeno disuelto (mg/l), nitratos (mg/l), nitritos (mg/l), DBO (mg/l), DQO (mg/l), fosfatos (mg/l), amonio (mg/l), dureza total (mg/l), coliformes fecales (mg/l), coliformes totales (mg/l), cuyos valores obtenidos en los puntos de muestreo fueron PM1 (13,63), PM2 (21,60) y, PM3 (59,00) y, para los macroinvertebrados el índice BMWP/COL se establecieron calidades de agua críticas que van desde aguas muy contaminadas hasta aguas fuertemente contaminadas.

Se encontraron un total de seis órdenes y siete familias de macroinvertebrados en los tres puntos de monitoreo (PM1, PM2 y PM3, siendo las cantidades más representativas: Chironomidae (55), Baetidae (15), Smicridae (4) con relación al número total de individuos encontrados, y otras en menores porcentajes.

La calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica del río Lelia destinadas atender la demanda del líquido vital en la ciudad de Santo Domingo es de características preocupantes, debido a que los índices de contaminación orgánica procedentes de los hatos ganaderos localizados a lo largo de la rivera del sistema hídrico la califican como aguas fuertemente contaminadas, condición que exige implementar estrategias como

capacitar a los ganaderos a fin de reubicar los corrales y la reforestación con vegetación propia de la zona. Acciones que permitirán la recuperación de la calidad de agua del río Lelia y que será posible monitorear mediante bioindicadores que se desarrollan como resultados de la buena calidad del agua requerida para las generaciones presentes y futuras.

ABSTRACT

The water quality assessment at the drinking water collection point in the Lelia river, located in the Alluriquín Rural Parish, Santo Domingo canton, has three monitoring points located in strategic sectors of the object of analysis (before, during and then). Points from which composite samples were obtained to perform the physicochemical and biological analyzes, in each case.

For the calculation of the IQA index, the values of pH, temperature ($^{\circ}$ C), total solids (mg / l), dissolved oxygen (mg / l), nitrates (mg / l), nitrites (mg / l), BOD (mg / l), COD (mg / l), phosphates (mg / l), ammonium (mg / l), total hardness (mg / l), fecal coliforms (mg / l), total coliforms (mg / l) , whose values obtained in the sampling points were PM1 (13.63), PM2 (21.60) and, PM3 (59.00) and, for the macroinvertebrates, the BMWP / COL index established critical water qualities ranging from very polluted waters to heavily polluted waters.

A total of six orders and seven families of macroinvertebrates were found in the three monitoring points (PM1, PM2 and PM3, being the most representative quantities: Chironomidae (55), Baetidae (15), Smicridae (4) in relation to the total number of individuals found, and others in lower percentages.

The quality of the waters of the Lelia river basin destined to meet the demand of the vital liquid in the city of Santo Domingo is of worrying characteristics, due to the organic pollution rates coming from the cattle herds located along the riverbank. of the water system qualify as heavily polluted waters, a condition that requires implementing strategies such as training farmers to relocate pens and reforestation with vegetation of the area. Actions that will allow the recovery of the water quality

of the Lelia river and that it will be possible to monitor through bioindicators that are developed as a result of the good quality of water required for present and future generations.

1 INTRODUCCIÓN

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santo Domingo (EPMAPA-SD), a través de la Subgerencia de Operaciones y Mantenimiento está encargada de suministrar agua potable a la población local. Ubicada en la parte noroccidente de la Cordillera de los Andes, en la actualidad es la cuarta ciudad más poblada del país con 450.000 habitantes aproximadamente, según datos proporcionados por el GADM Santo Domingo. Escenario que exige realizar permanentes análisis a la calidad del líquido vital que se destina a atender la demanda de agua potable en la urbe local. (Domingo, 2015)

En Santo Domingo, no se han descontaminado los ríos, pese a que hace dos años se denunció sobre el nivel de afectación que estos sufren. Según el Ministerio del Ambiente, 30 ríos de la provincia contienen 19 elementos contaminantes, tales como: coliformes fecales, aceites y grasas, hierro, amoníaco, fenoles, zinc, aluminio, arsénico, bario, sulfato, cobre, fosfatos y otros. Cuenta con 31 microcuencas hidrográficas, tres subcuencas y 87 microcuencas por donde fluyen 257 ríos, según la Secretaría Nacional del Agua. (Velasco, 2016)

La ciudad de Santo Domingo de los Colorados cuenta con dos fuentes de abastecimiento en funcionamiento (plantas de captación), la más importante se realiza en el río Lelia en la cota de 720 m.s.n.m., ubicada en el Km 19.5 de la vía Santo Domingo – Aloag, con una capacidad máxima

de 1200 l/s. y un tiempo de vida de operación útil proyectada de 75 años.

(Torres, 2014)

La aplicación de bioindicadores ha sido propuesta como innovadora herramienta para determinar la calidad del agua de los ríos de la región, sin desconocer al procedimiento tradicional de estudio fisicoquímico. Procedimiento que simplifica las diferentes actividades de campo y laboratorio, y para lograr una adecuada aplicación se requiere la identificación y cuantificación de organismos basándose para ello en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua que se requiere analizar, y con el fin de aprovecharlas se debe contar con niveles de sensibilidad bajos ante la contaminación a que están sujetas las aguas del río Lelia.

La EPMAPA-SD en su afán de brindar el servicio de agua potable para la ciudad de Santo Domingo de los Colorados lleva adelante sus operaciones entregando a la población local, el líquido vital que garantice el buen vivir de sus usuarios, la promoción del desarrollo sustentable, la integralidad y, por ende precautela para que los costos socio ambientales sean parte de los costos de producción, la preservación, y el control de los servicios que tienen como finalidad entregar agua en condiciones óptimas para el aprovechamiento por parte de la población beneficiaria.

La demanda de agua apta para el consumo humano se ve seriamente afectada a causa del cambio climático, el incremento acelerado de las actividades agropecuarias, con efectos alarmantes que reducen la disponibilidad de agua dulce, comprometiendo la calidad del líquido vital, que desemboca en agua no aprovechable para el hombre y los seres vivos, lo cual se traduce en reducción de la abundancia y, por ende, provoca efectos

dañinos a la salud de quienes la consuman en dichas condiciones. Esta realidad, se establece a través de los efectos que se generan contra los bioindicadores que habitan a lo largo de sus cauces y punto de captación que permiten el aprovechamiento de sus aguas.

El río Lelia se encuentra localizado en el territorio de la parroquia rural Alluriquín, del cantón Santo Domingo. A lo largo de su recorrido no se cuenta con una franja de amortiguamiento a sus orillas, los dueños de unidades de producción pecuaria tienen sembrados pastizales, y los establos y desechos producto de la actividad ganadera van por escorrentía al río. A los costados de sus orillas encontramos los recintos San Miguel de Lelia, Esperanza de Lelia y Cristal de Lelia. Este sistema hídrico es vital para la población de Santo Domingo ya que de éste, se capta el agua para luego ser tratada en las plantas de potabilización de la EPMAPA-SD, las que se destinan a satisfacer la demanda del líquido vital por parte de la ciudadanía local. (Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente, 2014)



Figura 1 Mapa de las Cuencas Hidrográficas de Santo Domingo
Elaborado por: Cobos, L.
Fuente: SENAGUA

El estudio corresponde al mes de junio del año 2018. Se determinó la calidad de agua en el punto de captación de agua potable del río Lelia con bioindicadores de calidad de agua y análisis físico químico, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos entre los tres puntos preseleccionados (antes, en el sitio y después del punto de captación de agua).

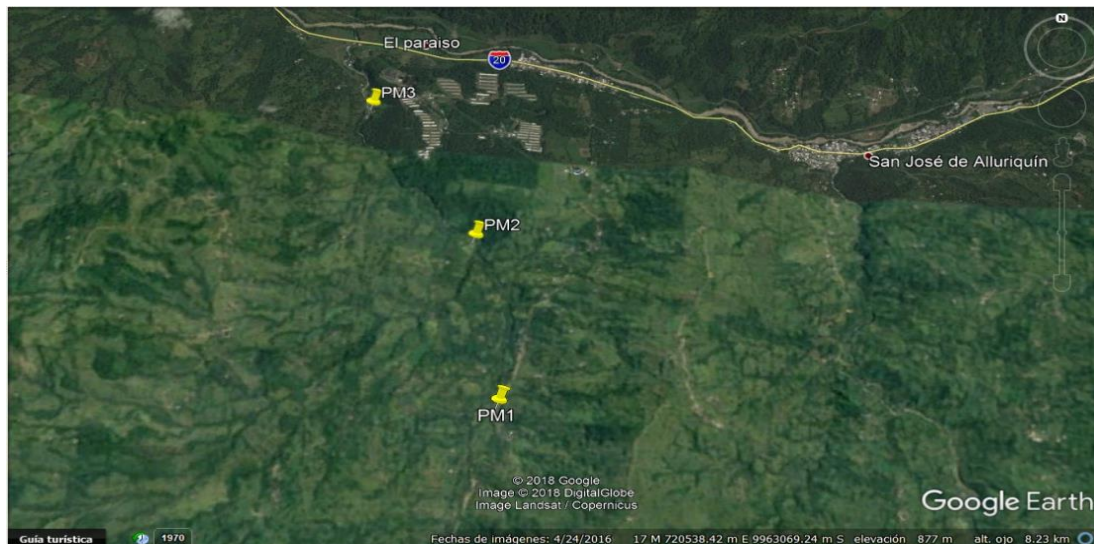


Figura 2 Puntos para la toma de muestras para el análisis de bioindicadores y análisis fisicoquímico en el Río Lelia

Elaborado por: Cobos, L.

Fuente: Google Earth

Para la realización del trabajo se contó con la colaboración de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Santo Domingo (EPMAPA-SD) y; por otro lado, la Universidad Politécnica Salesiana, el Laboratorio de Microbiología de la carrera de Ingeniería Ambiental, Sede Quito, Campo Sur y; el Laboratorio de Suelos y Agua, Sede Cayambe, donde se realizaron los análisis fisicoquímicos.

En base a este estudio se plantea dos hipótesis las cuales se las va a comprobar mediante análisis fisicoquímicos, IQA y BMWP/COL, que hipótesis es la correcta.

HI: La calidad del agua en el punto de captación de acuerdo a parámetros fisicoquímicos y bioindicadores será igual en los entre puntos (antes, durante y después).

HO: La calidad del agua en el punto de captación de acuerdo a parámetros fisicoquímicos y bioindicadores no será igual en los entre puntos (antes, durante y después).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar la calidad del agua en el punto de captación de agua potable del Río Lelia, mediante análisis físico-químico y bioindicadores acuáticos.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar una línea base sobre bioindicadores entre tres puntos (uno antes, en el punto y uno después) del punto de captación de agua potable en el Río Lelia.
- Identificar los bioindicadores acuáticos hasta el nivel taxonómico de familia.
- Comparar la calidad de agua entre las zonas (antes, durante y después) del punto de captación de agua potable mediante análisis fisicoquímico y el índice de calidad de agua (IQA).
- Elaborar mapas de calidad de agua en el punto de captación de agua potable del Río Lelia.

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 La cuenca hidrográfica del río Lelia

La cuenca es el espacio del territorio en el cual naturalmente discurren todas las aguas (aguas provenientes de precipitaciones, de deshielos, de acuíferos, etc. que discurren por cursos superficiales o ríos) hacia un único lugar o punto de descarga (que usualmente es un cuerpo de agua importante tal como un río, un lago o un océano). El ámbito de la cuenca hidrográfica es un espacio territorial natural independiente de las fronteras político-administrativas internas de un país o de fronteras internacionales. (Aguirre, 2015)

“El Ecuador, cuenta con una extensión territorial de 256.370 Km². Dentro de esta extensión territorial encontramos: Vertientes del Amazonas 72 cuencas hidrográficas y, Vertientes del Pacífico 7 cuencas hidrográficas” (SENAGUA, 2009).

Las unidades hidrográficas del Ecuador, están comprendidas en dos regiones hidrográficas o vertientes:

- 1) Pacífico (región hidrográfica 1).
- 2) Amazonas (región hidrográfica 4 – Cuenca del Río Amazonas).

Tabla 1 Distribución de Unidades Hidrográficas en el nivel 1

Región	No. de Unidades Hidrográficas	Área en Ecuador (km2)	% en Ecuador
1	1	124563,83	48,59
4	1	131806,17	51,41
TOTAL	2	256370	100

Elaborado por: Cobos, L.
Fuente: SENAGUA

La distribución de las unidades hidrográficas del Ecuador se distribuye en Región Hidrográfica 1 y Región Hidrográfica 2, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 2 Distribución de las Unidades Hidrográficas en el Ecuador

Región Hidrográfica	Unidades Hidrográficas				
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Región Hidrográfica 1	1	3	16	117	711
Región Hidrográfica Amazonas 4	1	1	2	6	23
TOTAL	2	4	18	123	734

Elaborado por: Cobos, L.
Fuente: SENAGUA

Cuenca hidrográfica es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. Toda cuenca se delimita por la línea del divorcio de las aguas que la conforman. (Tuesca, 2015)

Tal es la importancia del agua para la vida en el planeta, los negocios, la economía en su conjunto y el ambiente que prácticamente todos los retos y las decisiones a las

que nos enfrentamos en esa materia se pueden y se deben entender bajo el prisma de la seguridad hídrica. Indistintamente de las circunstancias es trascendental garantizar la disponibilidad de cantidades básicas de calidad que garanticen la satisfacción por parte del conglomerado humano, las diferentes actividades económicas y los ecosistemas en todas sus formas.

Adicionalmente, es importante reducir y gestionar los riesgos asociados al agua que pueden venir de la insuficiencia del recurso por razones estructurales (como la escasez de agua) o temporales (como la sequía); por la abundancia de agua (inundaciones) o por la falta de calidad en el líquido vital. Todos estos desafíos aumentan ciertas amenazas para la salud pública y los riesgos derivados del exceso de agua, por ejemplo, deslizamientos de tierra, o falta de ella, por ejemplo, incendios, sin olvidar que la rivalidad por el acceso a las fuentes de agua puede ser una fuente de inestabilidad social, cuando se convierte en el detonante de conflictos bélicos entre naciones. (Delacámara, 2018)

El río Lelia cuenta con el bosque protector Subcuenca del Río Lelia que cuenta con una superficie de 3255,66 Has, fue declarado por Petición de Parte mediante Resolución No. 008 del 17 de febrero de 1994 y publicado en el Registro Oficial No. 471 del 28 de junio de 1994, se encuentra ubicado al norte del País, se localiza en la Parroquia rural Alluriquín, del cantón Santo Domingo, entre el poblado de Cristal de Lelia al norte, al sur y sureste la reserva ecológica Los Ilinizas y, al oeste con el río Garrapatilla. (MAE, 2013)

Cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas. En la cuenca hidrográfica encontramos recursos naturales e infraestructura creada por las personas, en las cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano. (COLSAN, 2016)

Cuenca hidrográfica es el territorio que generan recursos hídricos que alimentan a un cauce natural de mayor alcance reconocido como río, es cual se clasifica como pequeño, mediano o gran caudal. En este caso el territorio se delimita por la topografía y los declives de suelos que los conforman, lo que conlleva a definir cada sistema hidrográfico, y la suma de estos conforman las grandes cuencas de recursos hídricos de una región, cantón o país.

3.2 Recursos Hídricos

El agua es un elemento esencial del desarrollo sostenible de las sociedades y naciones. Los recursos hídricos, y la gama de servicios que prestan, juegan un papel clave en la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. El agua propicia bienestar de la población y el crecimiento inclusivo, y tiene un impacto positivo en la vida de miles de millones de personas, al incidir en cuestiones que afectan a la

seguridad alimentaria y energética, a la salud humana y el medio ambiente.
(Organización de Naciones Unidas, 2017)

En el año 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció tácitamente que el derecho humano, el abastecimiento de agua de calidad y el saneamiento permanente y técnicamente adecuados son elementales para el bienestar del ser humano. Todas las personas tienen derecho a disponer de manera permanente de una cantidad suficiente de agua, cuyas características sean salubre, físicamente accesible, asequible y de calidad aceptable, para el consumo y uso humano, que permita agregarle valor a la calidad de vida que las personas se merecen para su bienestar y desarrollo.
(Organización Mundial de la Salud, 2017)

Los recursos hídricos cumplen un papel preponderante en la atención de la demanda de agua apta para el consumo humano y sus diferentes usos y aplicaciones. Para ello es necesaria una gestión que optimice los recursos hídricos, haciendo necesaria la toma de decisiones efectivas tendientes a preservar las cuencas hídricas que abastecen la demanda del líquido vital por parte de las grandes ciudades y poblaciones. El valor de los recursos hídricos no se basa únicamente en la cantidad, sino también en la calidad que se mide a través de diferentes métodos de evaluación, localización, accesibilidad y disponibilidad en el tiempo.

El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y la conservación de su calidad está sometida a una presión constante. El agua salubre y fácilmente accesible es importante

para la salud pública, ya sea que se utiliza para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos distintos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y la gestión de los recursos hídricos impulsa el crecimiento económico de los países, al mismo tiempo que contribuyen en gran medida a la reducción de la pobreza de sus pobladores. (OMS, 2017)

Debido a las singulares características del agua y a su importancia sociocultural, el intento de valorar económicamente los servicios hídricos es difícil e indispensable en la actualidad. Sin embargo, el proceso de vincular una escala monetaria a los servicios de agua apta para el consumo humano, exige y comprometen grandes esfuerzos y recursos que permitan la toma de decisiones efectivas en materia de conservación, distribución y desarrollo de los recursos de agua dulce.

Por otro lado, los precios de mercado son inadecuados e insuficientes a la hora de estimar los valores no comerciales de los recursos hídricos, toda vez que su origen los hace parte de la naturaleza en su estado primario y su aprovechamiento o utilización incorporar valor a favor de su conservación y el buen uso que este exige y que hoy en día es necesario para garantizar el abastecimiento a las futuras generaciones.

3.2.1 Calidad de agua

La calidad del agua considerando factores físicos, químicos y biológicos, contemplados con información sobre las formas, intensidad y permanencia de la contaminación, constituye un insumo fundamental para

la toma de decisiones para la gestión integrada del recurso hídrico; entendida esta como la administración y el desarrollo armónico del agua, el suelo y los recursos relacionados, para optimizar el bienestar económico y social, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales, que definen la gestión como un proceso sistemático para el asignación y monitoreo del uso y la calidad del recurso hídrico, en el marco de objetivos sociales, económicos y ambientales. (Leandro, 2014)

El agua debe estar sujeta a controles de calidad para determinar si esta apta o no para el consumo humano, esto significa análisis físicos, químicos y biológicos que establecen el tipo de agua, lo cual permite determinar si debe ser consumida por el ser humano o simplemente se destine a otros usos. Al encontrarnos con escenarios de esta naturaleza, se deben tomar decisiones efectivas que conduzcan a contar con agua apta el consumo humano requerido por las ciudades, considerando siempre el uso adecuado del líquido vital.

La calidad de las aguas superficiales de los diferentes reservorios naturales es un tema de discusión en todo el mundo; fundamentalmente porque se ve afectada con la introducción de agentes contaminantes de origen antrópico, cada vez más agresivos y que por su naturaleza química son más difíciles de tratar y controlar. Además, el cambio de uso de los suelos influye significativamente sobre el paisaje, alterando sus ecosistemas y recursos. (Coello, 2014)

La calidad del agua se define como aquella condición que debe darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla determinados objetivos de calidad y está definida por las características físicas, químicas, biológicas y ecológicas que deben alcanzar para ser considerada una agua apta para el consumo y uso humano y, que hoy en día exige el destino de recursos y actividades que permitan mantenerlas en condiciones amigables para preservar la vida de las especies propias de sus cuencas hidrográficas y causas naturales generados a lo largo del tiempo. (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2000)

La gestión de la calidad del agua contribuye directa e indirectamente a alcanzar las metas establecidas en cada uno de los ocho objetivos de Desarrollo del Milenio, en particular se encuentra estrechamente vinculada al Objetivo 7, dirigido a garantizar la sostenibilidad medioambiental, cuya finalidad es asegurar el adecuado uso y aprovechamiento del recurso hídrico, en cada uno de sus usos y aprovechamientos. (UNESCO, 2008)

Partiendo del hecho que debemos determinar la calidad de agua, se debe considerar las aguas superficiales, que son parte y las encontramos en zonas destinadas a la producción agropecuaria, industrias, zonas residenciales y otras, y si observamos los usos se convierten en portadoras de residuos físicos, químicos, coliformes fecales y otros elementos nocivos, reduciendo la calidad de las mismas. Este escenario crea la necesidad imperiosa de destinar recursos esfuerzos que permitan reducir los daños ocasionados a la calidad de las aguas por efecto de la mano del hombre en contra de la naturaleza.

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: i) una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y ii) la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua. (Sierra, 2013)

3.2.1.1 Calidad hidrográfica

El agua apta para el consumo humano es un recurso limitado y su calidad es objeto de observación constante, por ello es primordial preservar la calidad del agua destinada al consumo humano (agua potable), la producción de alimentos y el uso de aguas recreativas que son requeridos por las grandes ciudades o poblaciones que habitan en los diferentes sectores de los países, regiones o localidades. (PAHO, 2017)

La eliminación de los residuos fecales constituye el principal problema para los países en vías de desarrollo, debido al vertimiento de desagües sin recibir previamente el debido tratamiento, convirtiéndose en un hecho frecuente de las grandes ciudades. En el sector rural la defecación se da campo abierto, la presencia de animales domésticos y silvestres hacen las veces de agentes patógenos, lo cual genera una elevada contaminación fecal caracterizada por la presencia de coliformes termotolerantes. Evidencia de ello conocemos que los ríos que atraviesan la ciudad de Santo Domingo de los Colorados se han convertido en los canales de evacuación que

arrastran grandes cantidades de dichos contaminantes fecales, generados por población urbana de la ciudad.

Los agentes patógenos involucrados en la contaminación hídrica de los ríos y acuíferos son principalmente bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Agentes patógenos que ocasionan enfermedades que atacan al humano, que pueden ir desde una simple gastroenteritis simple hasta difíciles cuadros clínicos de disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. Por otro lado, tenemos cuadros de transmisión de enfermedades a través de alimentos mal cocidos y aseados, los malos hábitos de higiene, la transmisión de enfermedades de animales al hombre y otros casos de incidencia sobre la salud humano. (PAHO, 2017)

El uso y aprovechamiento del agua está supeditada a la calidad, condición que exige la verificación en cada tramo de un sistema hídrico o acuífero. En este escenario, los ríos reciben descargas importantes lo que les impide autodepurarse en forma natural a lo largo de sus recorridos. La calidad el agua en estado natural es amenazada por vertidos domésticos, industriales y las inadecuadas prácticas agrícolas, realidad que impide y pone en riesgo el adecuado aprovechamiento de los ríos y acuíferos ubicados en las diferentes zonas y regiones del país y el mundo. (Ebrard, M. & otros, 2013)

3.2.1.2 Calidad biológica

Los ríos, lagos, lagunas y mares conforman las aguas superficiales, y por su condición se exponen permanentemente a un gran número de factores que alteran la calidad de las aguas, ocasionados por acciones simples o complejas. Eventos naturales o antrópicos de tipo doméstico, industrial, minero y otros, terminan incidiendo directamente en el ambiente acuático, lo cual explica por qué son presa fácil de la contaminación y pérdida de la calidad, dado por sus vastas y extensas zonas de recorrido en las diferentes franjas donde estos se encuentran, por lo que acarrean grandes cantidades de metales, productos contaminantes y material orgánico e inorgánico que reduce significativamente la calidad, lo que impide hacer un aprovechamiento adecuado de las aguas dulces que abastecen a la población circundante de cada sector.

Según (Cebollero, 2018):

Estado ecológico es la expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales en relación con las condiciones de referencia. Los indicadores de los elementos de calidad biológica más apropiados para cada tipo de masa de agua (ríos, lagos, lagunas y aguas costeras). Entre los elementos de calidad para la clasificación del estado o potencial ecológico para las masas de agua tenemos:

- Composición, abundancia y biomasa del fitoplancton.
- Composición y abundancia de otro tipo de flora acuática.
- Composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados.
- Composición, abundancia y estructura de edades de fauna ictiológica

Las aguas subterráneas están contenidas en lo que se llaman acuíferos, esto es formaciones geológicas que constan de material permeable capaz de almacenar una cierta cantidad significativa de agua. Lo más importante acerca del uso de agua subterránea, es buscar el equilibrio adecuado entre la elaboración y dejando que el nivel del acuífero se recupera, para evitar la sobreexplotación y evitar la contaminación de este recurso.

3.2.1.2.1 Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados acuáticos son bichos que se pueden ver a simple vista. Se llaman macro porque son grandes (miden entre 2 milímetros y 30 centímetros), invertebrados porque no tienen huesos, y acuáticos porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas. Estos animales proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, y, al usarlos en el monitoreo, puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra: algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. Entre los macroinvertebrados tenemos moscas de piedra,

caballitos del diablo, libélulas o helicópteros, chinches o chicaposos, perros de agua o moscas de aliso, caracoles, conchas, cangrejos azules, camarones de río o minchillas, planarias, lombrices de agua, ácaros de agua y sanguijuelas o chupa-sangres. (Carrera & Fierro, 2001)

Los macroinvertebrados bentónicos de agua dulce agrupan taxones de diferentes grupos de invertebrados que habitan en los diferentes tipos de masas de agua continentales. Su utilización como bioindicador obedece a que responden con sensibilidad y rapidez a las variaciones ambientales de la zona con una amplia gradación en la respuesta frente a un variado espectro de clases y grados de estrés. Los límites de tolerancia de los organismos varían de una especie a otra, siendo unas más tolerantes y otras más sensibles a las perturbaciones del medio. De modo que las variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como los signos evidentes de algún tipo de contaminación. (Biosfera, 2018)

Los organismos indicadores son especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia a varios parámetros. En este caso, los macroinvertebrados incluyen grupos de invertebrados de tamaño relativamente grandes; la gran mayoría son artrópodos, ya que, debido a la gran diversidad y abundancia en aguas dulces, son los organismos más utilizados como bioindicadores, y también debido a su fácil manejo. El uso principal de los indicadores biológicos es la detección de sustancias contaminantes como metales pesados, nutrientes, elementos tóxicos o

materia orgánica; también se pueden determinar las condiciones de anoxia, condiciones de pH, saturación de oxígeno, turbulencia del agua, estratificación térmica y de oxígeno en la columna de agua, grado de mineralización del agua, torrencialidad, eutrofización natural y otros. (Rodríguez, 2017)

Los macroinvertebrados viven en hábitats acuáticos diversos, por lo que cada comunidad se localiza en un área en particular. Ejemplo de ello tenemos que algunos viven adheridos a la superficie de rocas, piedras o troncos sumergidos; otros prefieren las orillas, adheridos a la vegetación sumergida o emergida. Otros habitan sobre la superficie del agua, nadando como peces y, por último, tenemos a aquellos que prefieren fondos fangosos o pedregosos. (Carrera & Fierro, 2001)

Los macroinvertebrados acuáticos actualmente son los mejores bioindicadores de la calidad del agua, debido al tamaño, distribución y adaptación a diferentes variables fisicobióticas. El concepto calidad de agua ha cambiado de enfoque fisicoquímico a otro que integra los componentes del ecosistema. Un organismo es buen indicador de calidad de agua, cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y su población es superior al resto de organismos con los que comparte el hábitat. (Lozano, 2015)

3.2.1.2.2 Biological Monitoring Workgin Party / Colombia

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se requiere invertir. El método sólo requiere llegar hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). (Roldan & Ramírez, 2013)

La bioindicación en Colombia constituyo el artífice para realizar estudios a la fauna de los macroinvertebrados como bioindicadores de contaminación del río Medellín. Posteriormente, otros investigadores realizaron análisis a través de macroinvertebrados como indicadores de calidad en otros ríos de Colombia, y estos constituyeron las experiencias para aplicarlos en la mayoría de países neotropicales, como el caso de Ecuador. (Roldan, 2013)

El agua, constituye el recurso natural sensible y limitado para el desarrollo de actividades antrópicas. Durante años se vienen desarrollando investigaciones para determinar la calidad del agua, basados en los parámetros fisicoquímicos. Pero hoy en día, se han incorporado los organismos que habitan en los cuerpos de agua, los cuales permiten establecer las condiciones ecológicas sean estas estables o cambiantes del recurso insitu y exsitu en un periodo de tiempo determinado, información que sirve de referente a la hora de beneficiarse de dicho recurso en estado natural.

La degradación de los recursos hídricos es motivo de constante preocupación para el ser humano, debido al creciente interés y necesidad de conocer y proteger los ecosistemas acuáticos, en particular por el hecho de que las aguas dulces han sido convertidas en canales de evacuación de productos no utilizables, procedentes de industrias, la agricultura y el metabolismo humano y animal que habita cada región. (Norris, 2014)

Entre los indicadores más empleados para evaluar la calidad del agua en Colombia es el Biological Monitoring Working Party. Gracias al hecho de brindar la facilidad de utilizarlo ha sido posible realizar el análisis de la calidad del agua en diferentes regiones y países, ha permitido identificar la relevancia que establece cuantitativamente para los géneros, valores de tolerancia ante condiciones adversas, debiendo integrar variables ambientales locales junto con la composición y abundancia de organismos propios de las familias que habitan las fuentes de agua en cada región o país que sea objeto de análisis, cuya finalidad es el aprovechamiento de dichos recursos, lo que exige conocer las condiciones reales, a fin de tomar acciones para su conservación y oportuno uso en actividades humanas y otras especies de seres vivos. (Forero, 2014)

Los macroinvertebrados acuáticos son todos aquellos organismos que viven en el fondo de los ríos, lagos, adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidas. Sus poblaciones están conformadas por platelmintos, insectos, moluscos y crustáceos. Es un hecho que la composición de las comunidades de macroinvertebrados refleja la calidad

de los ecosistemas acuáticos; por ello, los métodos de evaluación basados en dichos organismos han sido ampliamente utilizados desde hace varias décadas como una parte integral del monitoreo de la calidad del agua. (Roldán, 2013)

Tabla 3 Método BMWP / COL Interpretación

Clase	Calidad	BMWP/COL	Significado	Color
I	Buena	>100	Agua muy limpias a limpias	
II	Aceptable	61-100	Agua ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Agua moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy critica	<16	Aguas fuertemente contaminadas	

Elaborado por: Cobos, L.

Fuente: (Roldan & Ramírez, 2013)

El acceso a la fauna acuática en cada país, constituye la razón para el uso de esta técnica, para ello debemos tomar como base los datos y los resultados que fundamentarán con precisión los datos obtenidos con anticipación de la fauna de cada país. Sabemos que los índices constituyen las formas numéricas biológicas que generan la información y los criterios propios de cada sistema acuático para la evaluación de la contaminación ocasionada en cada país basándonos en la integridad ecológica de las fuentes de agua.

3.2.1.3 Calidad de agua con análisis fisicoquímicos

Desde la óptica administrativa, la calidad del agua se define por el uso final esperado, esto es el agua para recreación, pesca, beber (sed) y, el hábitat de organismos acuáticos que requiere altos niveles de pureza. Por esta razón, la calidad del agua hace referencia a las “características físicas,

químicas y biológicas del agua necesarias para sostener los usos esperados”. Es importante señalar que, después de ser utilizada, el agua suele regresar al sistema hidrológico y, si no es tratada, puede afectar gravemente al ambiente. (Petro, 2014)

Dadas las propiedades fisicoquímicas del agua, esta tiene un comportamiento de un magnífico disolvente tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos, ya sean de naturaleza polar o apolar; de forma que podemos encontrarnos en su seno una gran cantidad de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas diferentes que modifican sus propiedades. A su comportamiento como disolvente hay que añadir su capacidad para que se desarrolle vida en su seno, lo que la convierte en un sistema complejo sobre el que habrá que realizar análisis tanto cualitativos como cuantitativos con objeto de conocer el tipo y grado de alteración que ha sufrido, y consecuentemente como se encuentran modificadas sus propiedades para usos posteriores. Puesto que la alteración de la calidad del agua puede venir provocada tanto por efectos naturales como por la actuación humana derivada de la actividad industrial, agropecuaria, doméstica o de cualquier otra índole, no es de extrañar que el análisis de los parámetros de calidad del agua se deba realizar a todo tipo de aguas, independientemente de su origen. (Aznar, 2014)

La cuenca del río Lelia es de vital importancia para el GADM Santo Domingo en razón de que es sistema hídrico que abastece del suministro del recurso hídrico destinado a satisfacer la demanda del líquido vital (agua) por parte de la población

local. La calidad de sus aguas se ha visto alterada debido a la descarga directa de aguas residuales generadas por los hatos ganaderos y asentamientos humanos localizados a lo largo de las orillas del río, acciones que incrementan la polución y contaminación bacteriana.

Si a ello le incorporamos el hecho de no existir sistemas de tratamiento para aguas negras e instalaciones adecuadamente construidas para el manejo integral y eliminación de los residuos sólidos producidos en cada hato ganadero, nos encontramos ante una altísima probabilidad de contar con agua de mala calidad destinada al consumo humano y, por otro lado, la sostenibilidad de los sistemas biológicos naturales de la cuenca hidrográfica ha descuidado la conservación de la vegetación sobre la ribera del cauce natural creado por el sistema acuífero del río Lelia.

Características físicas

Entre las características físicas del agua consideramos las que son perceptibles por los sentidos (vista, olfato y gusto), y tiene incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua a la hora de consumirla o utilizarla, tales como:

Color

Característica que está ligada directamente a la turbidez que se presenta independientemente de la naturaleza de la misma. Hasta la actualidad no ha sido posible establecer estructuras químicas fundamentales que expliquen o sean responsables del color, las cuales se atribuyen a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos

fúlvicos, y otros. Consideramos que el color natural del agua se origina por las siguientes causas: descomposición de materia, materia orgánica del suelo y presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos. Para la formación del color del agua intervienen el pH, la temperatura ambiental, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 72)

Olor y sabor

El olor y sabor son generados principalmente por los compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas. Estos se encuentran estrechamente relacionados y constituyen el factor de rechazo a la hora de ser escogida por el consumidor. Es decir, son necesarios pero su ausencia demuestra la presencia de componentes orgánicos en el agua. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 63)

pH

El pH incide en fenómenos que ocurren en el agua, tales como corrosión y las incrustaciones existentes en las redes de distribución. Dichos efectos inciden en los procesos de tratamiento de aguas, como coagulación y desinfección. Generalmente las aguas naturales no contaminadas exhiben un pH de 6 a 9. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 95)

Temperatura

Es el parámetro más importante a la hora de acelerar o retardar la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de

compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, la floculación, sedimentación y filtración. Estos múltiples factores ambientales marcan la diferencia de temperatura del agua en cualquiera de los escenarios donde se analicen los cauces de agua dulce de cada región o país. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 95)

Turbidez

Es originada por las partículas suspendidas existentes en la fuente de agua, lo cual reduce la transparencia del líquido vital (en menor o mayor grado). La turbidez se mide con un turbidímetro o nefelómetro. Esta afecta la calidad estética del agua, llevándola al rechazo por parte de los consumidores. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 72)

Características químicas

Los componentes químicos disueltos en el agua pueden ser de origen industrial o natural. Pueden servir de beneficio o daño de acuerdo al grado de composición y concentración.

Aluminio

Componente natural del agua, porque forma parte de las estructuras de arcilla y, se encuentra presente en forma soluble o en sistemas coloidales, llevándolo a ser el responsable de la turbidez. Si las aguas presentan elevadas concentraciones de aluminio, significa un pH bajo. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 78)

Mercurio

Contaminante no deseable para el agua, por ser un metal pesado y tóxico para el hombre. En el agua lo encontramos en forma inorgánica y puede pasar a los compuestos orgánicos por acción de microorganismos presentes en sedimentos, de aquí al plancton, algas y, así sucesivamente a organismos de niveles tróficos superiores como peces, aves e incluso el hombre bajo. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 78)

Plomo

En las aguas naturales superficiales no se encuentra presente, pero se ha detectado su presencia en aguas subterráneas. Su presencia se debe a que antiguamente se utilizaban tuberías de abastecimiento y las uniones eran fabricadas de plomo. Si el agua es ácida, esta libera el plomo de las tuberías, principalmente cuando se mantiene estancada por largo periodo de tiempo bajo. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 78)

Hierro

No ocasiona efectos en la salud humana en las proporciones que se encuentra en las aguas naturales. Ocasiona efectos en el sabor, alteraciones en la turbidez y color del agua. Por otro lado, tiene influencia en el ciclo de los fosfatos, por lo que hace importante su presencia desde la óptica de vista biológica bajo. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 78)

Cobre

“El agua potable se contamina de este mineral debido a la corrosión de las cañerías en las viviendas, erosión de depósitos naturales y percolado de conservantes de madera. En altas concentraciones el agua toma un saber desagradable bajo” (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 78).

Fluoruro

Elemento esencial para la nutrición del ser humano. Es adecuado el consumo a concentraciones adecuadas, así como también combate la formación de caries dental. En altas concentraciones ocasiona daños a la estructura ósea, lo cual exige tener control sobre las cantidades de este elemento en las aguas dulces. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 101)

Cloruro

En los sistemas de agua potable se ha observado por la agregación en las plantas de tratamiento como desinfectante. En altas concentraciones tiene un sabor salado fácilmente detectable. A partir de ciertas concentraciones, los cloruros ejercen acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo, por lo que es necesario su control y uso al momento de aprovechar las aguas. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 101)

Sulfatos

Son componentes naturales de las aguas superficiales, que no afectan a la calidad, provienen de la oxidación de sulfatos existentes en el agua. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua. En altas

concentraciones genera un sabor amargo al agua y, por otro lado, alcanza un efecto laxante, sobre todo cuando hay magnesio. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 100)

Nitritos y nitratos

Las altas concentraciones de nitratos las encontramos en aguas de zonas rurales debido a la descomposición de materia orgánica y los fertilizantes utilizados. Si las cuencas hídricas reciben descargas de aguas residuales, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se transformará por oxidación en nitritos y nitratos. Proceso que depende de la temperatura, contenido de oxígeno disuelto y pH del agua. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 100)

3.2.1.3.1 Índice de calidad de aguas (IQA)

El IQA (índice de calidad de aguas), es una combinación de determinados parámetros para saber la calidad del agua; este índice puede ser representado por un rango, un número, un color, un símbolo o una descripción verbal. Además, la información puede ser interpretada con facilidad por su característica de ser una herramienta comunicativa, siendo capaz de transmitir las condiciones de un cuerpo de agua (Sierra, 2013) y así determinar el tramo específico de la corriente de la investigación, mostrando la tendencia de la dispersión de los contaminantes.

Según (Sierra, 2013):

Expresa la siguiente formula:

$$IQA = a * (DBO_5 * DQO) + b * (OD) + c * (CF) + d * (SS * TUR) + e * (pH) + f * (T) \quad (1)$$

Donde:

DBO₅ = Demanda biológica de oxígeno quinto día (mg/l)

DQO = Demanda química de oxígeno (mg/l)

OD = Oxígeno disuelto (mg/l)

CF = Coliformes fecales (NMP)

SD = Sólidos sedimentables (mg/l)

SS = Sólidos suspendidos (mg/l)

TUR = Turbiedad (NTU)

pH = Potencial de hidrógeno

T = Temperatura (°C)

Los valores obtenidos en la Ecuación (1) del IQA, de cada uno de los puntos de muestreo se clasifican con los siguientes rangos de valores según lo explica la Tabla 4.

Tabla 4. Valor de acuerdo con el IQA

Valor IQA	Convención	Significado
91 - 100	Azul	Recurso hídrico en estado natural. Agua de muy buena calidad.
71 - 90	Amarillo	Recurso hídrico levemente contaminado. Agua de buena calidad.
51 - 70	Verde	Recurso hídrico regularmente contaminado. Agua regularmente contaminada.
25 - 50	Naranja	Recurso hídrico contaminado. Agua altamente contaminada.
0 - 24	Rojo	Recurso hídrico muerto. Se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del recurso.

Elaborado por: Cobos, L.

Fuente: (Sierra, 2013)

En la actualidad, el agua es un recurso esencial que requiere la máxima atención por parte de la administración de los Estados, ya que es indispensable para la preservación de la vida y, el hecho de estar en constante exposición al deterioro, exige el destinar mayores esfuerzos y recursos para conservarla y mantenerla en condiciones aptas para el uso y consumo del hombre, los seres vivos y la naturaleza en forma integral. Condición que le ha convertido en el elemento principal de cuidado, ya este permite la conservación de la vida en el planeta en todas las formas y condiciones.

Un bioindicador de calidad de agua es un parámetro o valor derivado de parámetros que sugieren, proporcionan información o describen el estado de calidad de las aguas que se estén estudiando. Todas estas características hacen que sean útiles para monitorear las condiciones en las que se encuentran los ecosistemas acuáticos. Por citar algunos organismos que

pueden ser usados como bioindicadores están los moluscos, insectos, anélidos hirudíneos, peces y el plancton, también es importante considerar la abundancia con que se les encuentran y la época del año en el que se realiza la observación. (Loné, 2016)

En la valoración y evaluación de la calidad del agua, se han empleado diversas metodologías entre las que se incluyen: comparación de las variables con la normatividad vigente; los indicadores de calidad de agua donde, a partir de un grupo de variables medidas, se genera un valor que califica y cualifica la fuente, y las metodologías más elaboradas como la modelación. (Valdes, 2014, págs. 165-180)

Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. La ventaja radica en que la información es fácilmente interpretada y comprendida y refleja una amplia información y difusión de datos. (Pamplona, 2016)

La calidad del agua se mide de acuerdo con distintos parámetros mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado. El índice de calidad del agua nos indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje de agua pura, y; si el agua es altamente

contaminada los valores alcanzados serán del 0% y, por el contrario, si el agua es de calidad los estándares alcanzaran el 100%. (Castro, 2014)

El agua es un recurso renovable que se renueva a través del ciclo hidrológico. El consumo de agua aumenta rápidamente y las fuentes de suministro están amenazadas por los contaminantes arrojados por el hombre, esto hace que se deba manejar adecuadamente, y para conocer su conservación es necesario realizar monitoreos frecuentes. La forma de hacerlo es calculando índices que combinan matemáticamente todas las medidas de calidad del agua, lo cual nos lleva a lograr una descripción general de las condiciones del agua de las cuencas hídricas que se deben aprovechar en función de la demanda del líquido vital de cada región o país. (Vega, 2014)

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

4.1.1 De campo

En la Tabla siguiente se detallan los materiales y equipos utilizados en la toma de las muestras de bioindicadores de calidad de agua en el punto de captación de agua potable del Río Lelia.

Tabla 5 Equipos, materiales utilizados en campo

Materiales		Reactivo
Lápiz	Accesorios impermeables	Alcohol 70%
Cámara	Red surber	
Etiquetas	Botas de goma	
Hojas de campo	Botellas de plástico de 5 litros	
Ropa adecuada para trabajo de campo	GPS	
Fundas ziploc (18x20) cm	Flexómetro	
Medidor de pH		

Elaborado: Cobos, L.

4.1.2 Laboratorio

“En la Tabla 6 se detallan los materiales utilizados en el análisis químico, basándonos en el Manual de Métodos Normalizados” (Federation, 1992)

Tabla 6 Materiales para análisis químicos

Materiales		Equipo
Picetas	Pinzas	Espectrofotómetro
Soporte Universal	Papel filtro	

Elaborado: Cobos, L.

Fuente: (Federation, 1992)

En la Tabla 7 se detallan los materiales, equipos y reactivos que se utilizaron durante la limpieza e identificación taxonómica.

Tabla 7 Equipos, materiales utilizados en laboratorio

Materiales		Equipo	Reactivo
Contador	Lupa	Estereomicroscopio	Alcohol 70%
Guía de identificación taxonómica	Formularios para anotar la identificación y recuentos		Agua destilada
Frascos pequeños para muestras	Pinzas de relojero		
Piceta	Guantes		
Caja Petri	Etiquetas		
Crisol	Lápiz		
Libreta de campo	Cámara		
Bandejas de metal	Jarras y recipientes de plástico		

Elaborado por: Cobos, L.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Zona de estudio

En la presente investigación se seleccionó el punto de captación de agua potable en el río Lelia; en la Figura se observa un gráfico en relieve de los puntos de muestreo a lo largo de la cuenta hidrográfica.

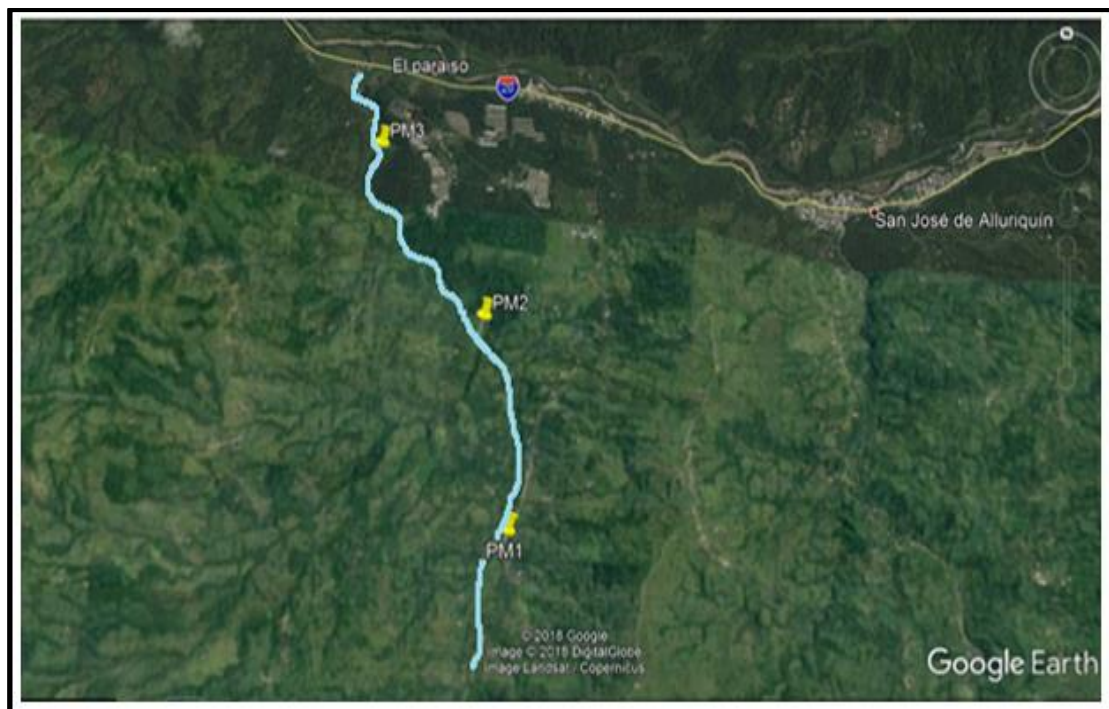


Figura 3 Imagen en relieve de los puntos de muestreo
Elaborado por: Cobos, L., 2018
Fuente: (Google, 2017)

Los puntos de muestreo del presente estudio se escogieron tomando en consideración las vías de acceso según el territorio, la vegetación del sector adyacente a la ribera de la cuenca hidrográfica del río Lelia, las mismas que se realizaron el día 12 de junio de 2018. En la Tabla 8 se detallan las coordenadas UTM de los tres puntos de muestreo propuestos.

Tabla 8 Coordenadas UTM, altitud y descripción de cada punto de muestreo

Puntos	Este (m)	Sur(m)	Altitud (msnm)	Zona	Uso de Suelo
PM1	720069	9961850	851	17 M	Pastos plantados
PM2	719862	9963409	824	17 M	Pastos plantados
PM3	718973	9964790	713	17 M	Pastos plantados

Elaborado: Cobos, L.

El punto PM1, observamos que se caracteriza por ser una zona intervenida con vegetación baja, efecto de la tala de sus árboles para actividades de ganadería, por otro lado, tenemos un puente metálico y una vía de tercer orden que ha sido construida a lo largo de toda la ribera derecha del río Lelia. Por otro lado, encontramos pastizales introducidos para el manejo de hatos ganaderos de dicha región.

El punto PM2, se encuentra localizado junto a propiedades dedicadas a la ganadería bovina y cultivos de caña de azúcar, donde no se observa la tala de los bosques junto a la ribera del río, ya que la topografía del lugar impide mayormente la incidencia de la mano del hombre (altas laderas), por lo que se trata de una zona de difícil acceso. Aquí encontramos el cauce artificial construido en la orilla izquierda del río que permite la captación del agua destinada al tratamiento en la planta de EPMAPA-SD.

El punto PM3, se caracteriza por ser un sector rodeado de pastizales dedicados a la ganadería bovina, con topografía regular que facilita el acceso peatonal y vehicular ya que se encuentra en el área adyacente a la vía Santo Domingo – Aloag.

Cada punto georeferenciado permitió trazar la trayectoria a lo largo de la cuenca hídrica del río Lelia, mediante los softwares Arc GIS 10.4 y Google Earth, se localizó los puntos en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes, al noreste del cantón Santo Domingo, de la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Las áreas de cultivos y pastizales constituyen mosaicos de vegetación entremezclados con remanentes de bosque secundario. Los cultivos constituyen extensiones de terreno destinadas a la siembra de caña de azúcar, plátano, guayaba, maíz,

cítricos y otros cultivos propios de la zona. Con frecuencia se observan claros de bosque con árboles remanentes, cuyos suelos han sido destinados a pastizales para el desarrollo de la ganadería. (Estratégica, 2014)

Los puntos PM1, PM2 y PM3 de la Tabla 8, corresponden a la zona de vida de Bosque Muy Húmedo Tropical, y a la formación vegetal bosque siempre verde montano, dentro del rango altitudinal de aproximadamente 200 a 1500 msnm (Cañadas, 1983), lo cual le convierte en un ecosistema destacado para el abastecimiento del líquido vital para la región de Santo Domingo, porque gracias al trabajo realizado por el GAD Municipal se ha logrado el enriquecimiento vegetal de la microcuenca del río Lelia, permitiendo mantener el cauce del líquido vital que atienda la demanda de la población del cantón.

4.2.2 Fase de campo

La fase de campo fue realizada con el apoyo de un técnico de EPMAPA-SD y el estudiante proponente del estudio, se recolectaron dos tipos de muestras: la primera para análisis mediante parámetros fisicoquímicos, y la segunda, para análisis mediante bioindicadores.

4.2.2.1 Técnica de muestreo de bioindicadores

Debido a que las aguas del río Lelia son correntosas, para la toma de las muestras de bioindicadores se utilizó la red surber, lo cual fue posible

porque la profundidad del río es inferior a un metro. La capacidad de captura de la red es de 30 cm², con un ojo de malla de un milímetro. (Natural, 2014)

4.2.2.2 Muestreo de macroinvertebrados

El muestreo inició desde aguas arriba hacia abajo, debido a que la topografía de la cuenta hidrográfica hace que el río cuente con altos niveles de corriente y, la distancia considerada para el análisis es de un kilómetro de punto a punto de muestreo, lo cual permite capturar organismos acuáticos propios de cada sector del río. Cada muestra fue tomada en el centro y a la orilla de cada punto previamente establecido, con la finalidad de contar con una importante diversidad de macroinvertebrados en cada punto muestral.

La red surber fue instalada y colocada en el fondo del cauce del río contra corriente permitiendo de inmediato a los bioindicadores y residuos de materia vegetal y orgánica que son arrastrados por las aguas sean llevados de inmediato a la red, proceso apoyado con movimientos oscilatorios realizados con la mano durante un tiempo aproximado de un minuto, para ello el encargado de tomar la muestra tomo una posición de pie junto al marco de la red surber; proceso que se realizó tres veces en cada punto muestral, en la medida que se observó la captura de las muestras (macroinvertebrados) buscadas para el estudio.

Seguidamente se retiraron palos, rocas y otros materiales de tamaño importante y, el sedimento de bioindicadores capturado se coloca en fundas de ziploc en alcohol al

70% y un poco de agua hasta cubrir cada muestra colectada en cada punto de muestreo; de inmediato cada muestra es etiquetada y codificada detallando la información que permita identificarlas fácilmente (número de muestra, fecha y lugar de muestreo). Luego de tomar cada muestra la red surber es adecuadamente lavada, a fin de que, en cada toma de muestra, está contenga únicamente bioindicadores del sitio previamente elegido para el proceso.

Para la toma de las muestras representativas se cumplió con los procesos previamente establecidos para cada punto muestral; para ello se utilizó un cooler donde se colocaron ordenadamente las muestras de macroinvertebrados para el respectivo traslado al Laboratorio de Microbiología de la carrera de Ingeniería Ambiental, Campo Sur, sede Quito de la UPS.

4.2.2.3 Toma de muestra de agua

Las muestras de agua para el análisis físico-químicos fueron tomadas manualmente en cada punto de muestreo previamente establecidos, utilizando recipientes plásticos esterilizados con una capacidad de seis litros cada uno, incluyendo el lavado por tres veces a cada recipiente con aguas de cada punto muestral. Seguidamente son sellados y etiquetados con iguales códigos de las muestras de macroinvertebrados. Las muestras fueron conservadas a baja temperatura hasta la entrega en el Laboratorio de Suelos y Agua, en la sede Cayambe de la UPS, para la realización de los análisis fisicoquímicos.

4.2.3 Fase de laboratorio

4.2.3.1 Análisis fisicoquímicos

Para el análisis fisicoquímico, el estudiante de Ingeniería Ambiental Luis Felipe Cobos Recalde procedió a la entrega de las muestras de agua al Delegado del Laboratorio de Aguas y Suelos, Ing. Orlando Gualavisi, en la sede Cayambe de la UPS. En laboratorio se evaluaron los parámetros detallados en la Tabla 9, con su respectivo método de valoración. La metodología aplicada para la determinación de los parámetros se basó en el Manual de Métodos Normalizados para el análisis de agua potable y residual. (APHA, 1989)

Tabla 9 Metodologías para los parámetros fisicoquímicos

Parámetros	Unidad	Método de Valoración
Temperatura	°C	Electrónico Hanna
Potencial Hidrógeno	U Ph	SM. 4500-H y 4500-H + 8
Nitritos*	mg/L	SM. 4500 N02 E
Nitratos	mg/L	SM. 4500 - N03 C
Amonio	mg/L	SM. 4500 - NH3 C
Fosfatos	mg/L	SM. 4500 - P E
Dureza Total	mg/L	SM. 2111 B
Sólidos Totales	mg/L	SM. 2540 A y 2540 D
Óxigeno Disuelto	mg/L	SM. 5220 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	SM. 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	SM. 5320 B
Coliformes Totales	nmp/100mL	SM 9222:D
Coliformes Fecales	nmp/100mL	

Elaborado: Cobos, L.

Fuente: (APHA, 1989)

Nota: *Parámetros analizados por el Ing. Orlando Gualavisi

4.2.3.2 Limpieza de macroinvertebrados

Par la limpieza de los macroinvertebrados se procedió a colocar cada muestra en una bandeja plástica totalmente limpia y, con la ayuda de una lupa se estableció cada macroinvertebrado capturado y con una pinza de relojero se los tomó por el abdomen y se los colocó a cada uno en los tubos plásticos pequeños con alcohol y, de aquí se los colocó en microtubos para realizar la respectiva identificación taxonómica. Proceso supervisado por el Dr. Fabián Bersosa.

4.2.3.3 Identificación taxonómica y conteo de macroinvertebrados

La identificación taxonómica de los macroinvertebrados fue realizada en el Laboratorio de Microbiología de la Carrera de Ingeniería Ambiental, sede Quito, campus Sur, de la UPS. Para ello, cada muestra fue colocada en una caja Petri, proceso que facilita la identificación y posterior observación hasta llegar al nivel taxonómico de cada familia, para ello se utilizaron las claves taxonómicas para invertebrados acuáticos del protocolo evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos. (Encalada, 2011)

Al realizar el análisis de la cantidad de macroinvertebrados encontrados en cada muestra, observamos en los microtubos la escasa presencia de estos, procediendo inmediatamente a realizar el registro y conteo respectivo. Adicionalmente, debemos destacar que los microtubos fueron llenados con alcohol, con la respectiva etiqueta que contiene la siguiente

información: nombre del punto de muestreo, altitud, coordenadas, técnica de recolección, fecha de recolección muestral y personal que participo en la recolección. (Carrera & Fierro, 2001)

4.2.4 Fase de oficina

En la fase de oficina se tomaron los resultados de las diferentes muestras obtenidas en el Laboratorio, con los mismos se elaboraron tablas dinámicas unificadas de orden, familia y abundancia de cada punto de muestro y el cálculo del BMWP/COL. Además, se determinaron tablas dinámicas de los parámetros fisicoquímicos de cada punto de muestreo, y con ellos procedimos a realizar el cálculo del IQA. Para ello utilizados la herramienta informática Excel.

4.2.4.1 Realización de mapas

Para la relación de mapas se utilizó el Arc GIS 10.4, utilizando mapas base del software y shapes de ríos, parroquias, provincias, topografía, poblaciones, comunidades y otros a escala 1:50000 del área de mercadotecnia del Instituto Geográfico Militar, ya que la carta topográfica de Santo Domingo no es de libre acceso. Información que se presenta en el Anexo 1 y 2. (Instituto Geográfico Militar, 2018)

4.2.4.2 Índice de calidad de agua (IQA)

“Los parámetros fisicoquímicos para el cálculo (IQA) fueron calculados en base a los trece mencionados en la Tabla 9, la fórmula utilizada es la de” (Sierra, 2013):

$$IQA = a * (DBO_5 * DQO) + b * (OD) + c * (CF) + d * (SS * TUR) + e * (pH) + f * (T)$$

Donde, a, b, c y d son los factores de ponderación (importancia) o el peso de cada uno de los términos considerados en la ecuación utilizada en el presente caso de investigación.

Las variables dependientes (DBO, DQO) se colocan en los mismos términos y se multiplican. Ya que las dos están estrechamente relacionadas y son independientes de los otros parámetros. En el caso de los parámetros (OD) y (CF), son independientes y no están relacionados con otros. Los valores de DBO, DQO, OD, CF, son valores entre cero y uno (0 - 1) calculados con las funciones de calidad, es decir, son variables indexadas.

En la Tabla 10 se detallan los factores de ponderación aplicados para el cálculo del IQA.

Tabla 10 Factores de ponderación de parámetros fisicoquímicos

Parámetros	Factor de Ponderación
OD (mg/l)	0,17
Coliformes fecales (#/100 ml)	0,16
pH	0,11
DBO ₅ (mg/l)	0,11
Temperatura °C	0,10
Fosfatos (mg/l)	0,10
Nitratos (mg/l)	0,10
Turbidez (NTU)	0,08
ST (mg/l)	0,07

Elaborado: Cobos, L.

Fuente: (Fernández, 2005)

El subtotal del IQA se obtuvo aplicando la fórmula descrita anteriormente. La calidad del agua se determina realizando una sumatoria de los valores obtenidos en cada parámetro. En la Tabla 11 se detalla la calidad del agua para cada rango.

Tabla 11 Rango Índice IQA

Calidad	Rango
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Media	51 - 70
Mala	26 - 50
Muy mala	0 - 25

Elaborado: Cobos, L.

Fuente: (Coello J. &., 2013)

4.2.5 Diseño experimental

Para el presente proyecto investigativo, utilizamos el diseño muestral en tres puntos ubicados a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Lelia (antes, durante y después), y para la comprobación de la hipótesis planteada sobre los análisis fisicoquímicos y de bioindicadores se consideró adecuado aplicar el estadístico que se detalla a continuación.

4.2.5.1 Población y muestra

La presente investigación se realizó en la cuenca hidrográfica del río Lelia, donde se establecieron tres puntos de muestro con respecto al punto de captación de agua potable de EPMAPA-SD (antes, durante y después), con su respectivo código de identificación (PM1, PM2 y PM3).

Para identificar los bioindicadores se tomaron tres muestras en cada punto de muestreo ubicados a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Lelia. En cada muestra se realizó tres réplicas ubicadas en la orilla y en la mitad del caudal del río en cada punto establecido y, se consideró a este proceso como una sola muestra.

Con relación al análisis fisicoquímico se tomó muestras compuestas de agua en cada punto (antes, durante y después del punto de captación de agua potable de la EPMAPA-SD), esto es, se tomó un tercio del recipiente en cada punto, llegando a completar los seis litros de contenido de cada envase muestral.

Es necesario resaltar que las muestras fueron tomadas el día 12 de junio de 2018, sumando un total de 9 muestras de macroinvertebrados y 3 muestras compuestas de agua del río.

4.2.5.2 Variables

- Variable independiente: Parámetros fisicoquímicos y bioindicadores.
- Variable dependiente: Calidad del agua.

En la Tabla 12 se detallan todas las variables medidas en los tres puntos de muestreo (antes, durante y después del punto de captación de agua potable de la EPMAPA-SD); tales como las fisicoquímicas obtenidas mediante la metodología establecida en (APHA, 1989); las biológicas mediante la identificación taxonómica y la hidrológica medida de manera manual durante el proyecto de investigación.

Tabla 12 Variables y parámetros físicos, químicos, biológicos e hidrológicos

Variables	Parámetros
Físicas	Altitud (msnm)
	Temperatura °C
	Óxigeno Disuelto (mg/l)
	pH
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) (mg/l O ₂)
Químicas	Fosfato total (mg/l)
	Dureza Total (mg/l)
	Amonio (mg/l)
	Nitrato (mg/l NO ₃)
	Nitrito (mg/l NO ₂)
	Sólidos Totales (mg/l)
Biológicas	Diversidad de macroinvertebrados
	Abundancia de macroinvertebrados
Hidrológicas	Ancho (m)
	Profundidad (m)

Elaborado: Cobos, L.

Comprobación de Hipótesis

H1: Los parámetros fisicoquímicos y bioindicadores determinados en los puntos PM1, PM2 y PM3 nos manifiestan que, si observamos las Tablas 15 y 16 que detallan los datos obtenidos en los tres puntos, establecemos que no son iguales los resultados obtenidos. Así mismo, la Tabla 17, detalla los resultados de los análisis en Laboratorio

sobre la presencia de macroinvertebrados utilizados para medir la calidad de agua, los cuales igualmente son diferentes en los tres puntos objeto de análisis, en contradicción al hecho de que se busca la igual en los resultados.

Ho: Los parámetros utilizados para medir la calidad de las aguas, según los análisis fisicoquímicos y bioindicadores no son iguales en los puntos PM1, PM2 y PM3, respectivamente (antes, durante y después).

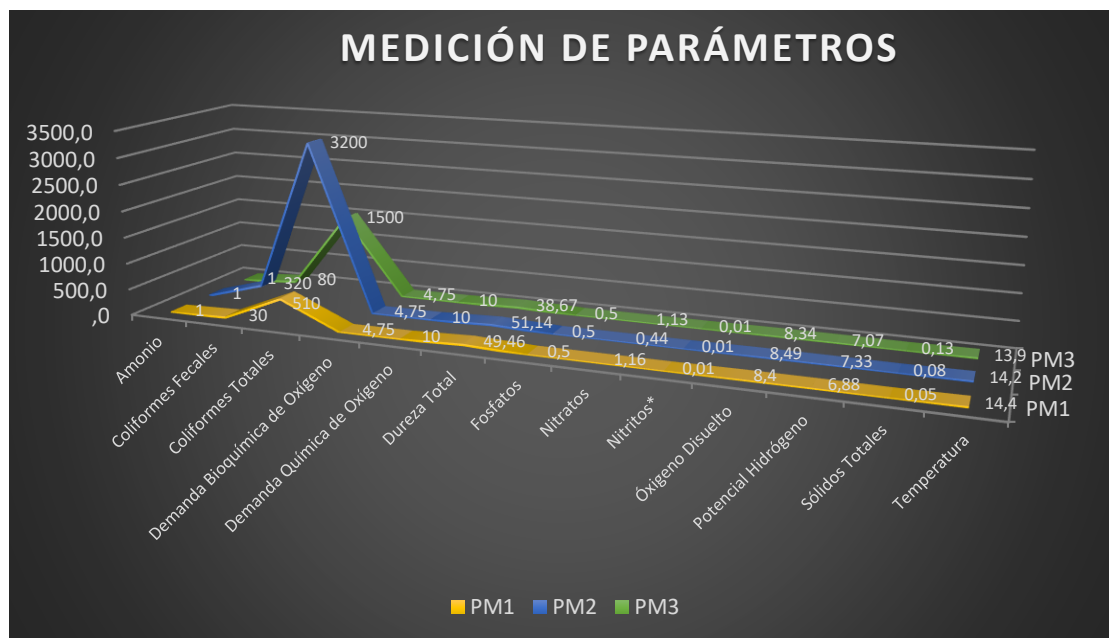


Figura 4. Medición de parámetros
Elaborado por: Cobos, L., 2018

Demostración: En base a los datos detallados en las Tablas 15, 16 y 17, y la Figura 4, rechazamos la Hipótesis de investigación (H1) y aceptamos la Hipótesis nula (Ho), debido a que los resultados que arroja la investigación en cada punto son distintos, lo cual demuestra que ha mayor altitud en los puntos de muestreo mayor contaminación según el valor IQA calculado y que se detalla en la Tabla 16 y Figura 5, por lo que se observan grandes diferencias en los informes de resultados obtenidos en cada punto de análisis.

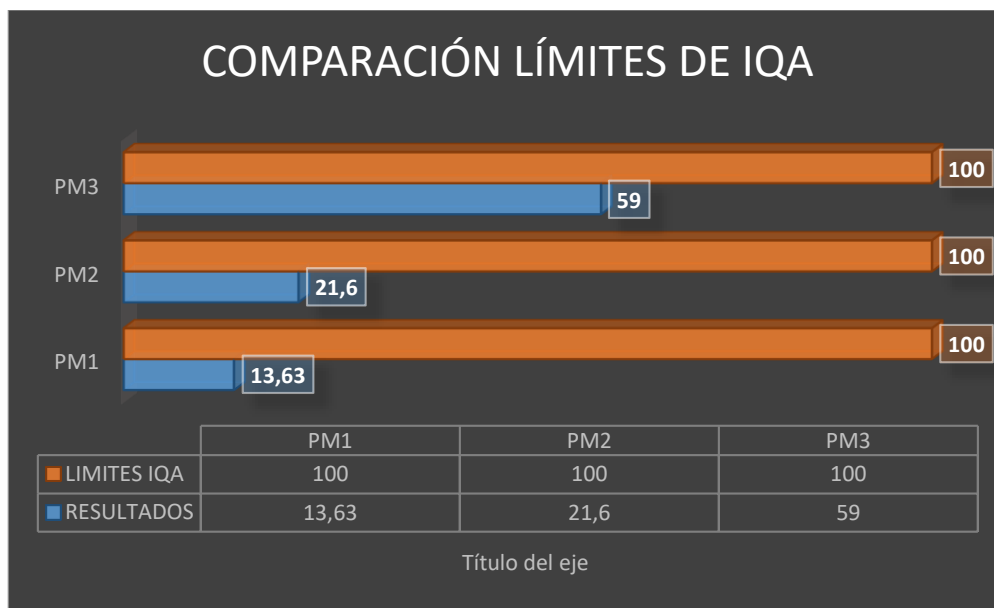


Figura 5. Comparación Límites de IQA
Elaborado por: Cobos, L., 2018

En la Figura 5, se aprecia una relación inversamente proporcional, debido a que a mayor valor del IQA calculado, menor contaminación y; a menor valor del IQA, mayor contaminación.

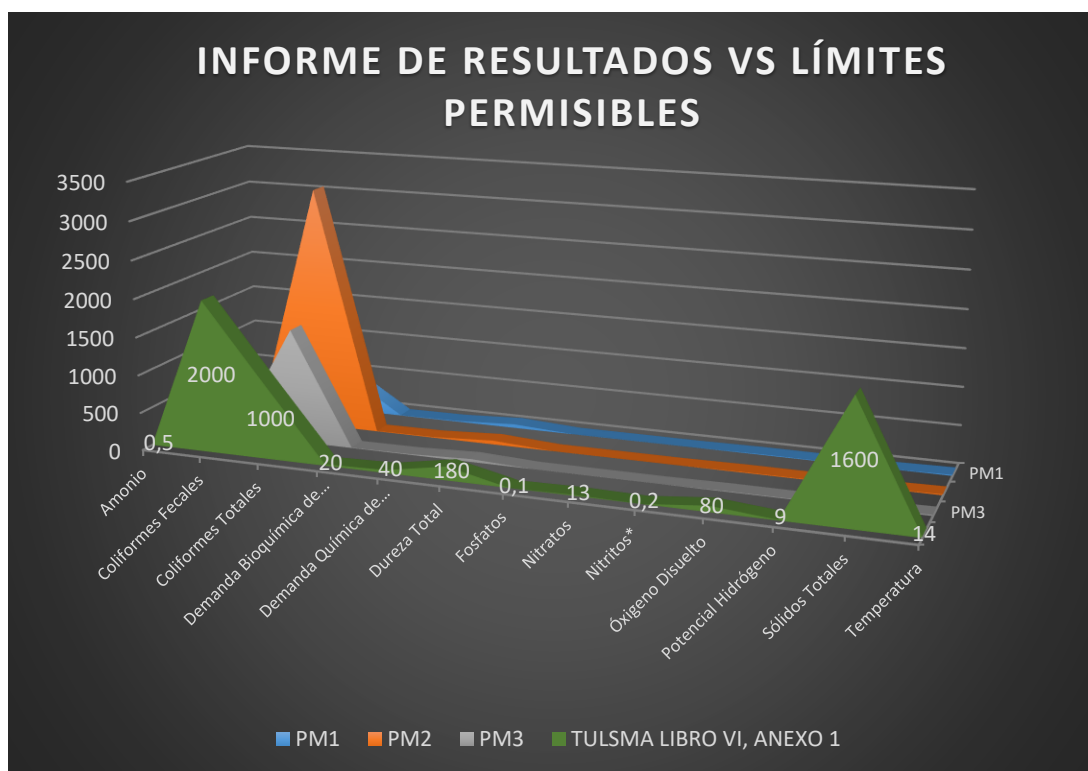


Figura 6. Informe de resultados Vs límites permisibles
Elaborado por: Cobos, L., 2018

Se utilizó un análisis estadístico comparativo entre los parámetros del informe de resultados y los límites permisibles de Tulsma, libro VI, anexo 1, detallados en la Tabla 2 y en la Figura 6, donde se observa que las variables coliformes totales, si superan la norma en el punto PM2.

4.2.5.3 Comparación entre índices IQA y BMWP/COL

La comparación de los índices IQA y BMWP/COL se detalla a continuación:

Tabla 13 Valores de calidad de IQA y BMWP/COL

Puntos de Muestreo	IQA	BMWP/COL
PM1	13,63	17
PM2	21,6	6
PM3	59	19

Elaborado: Cobos, L.

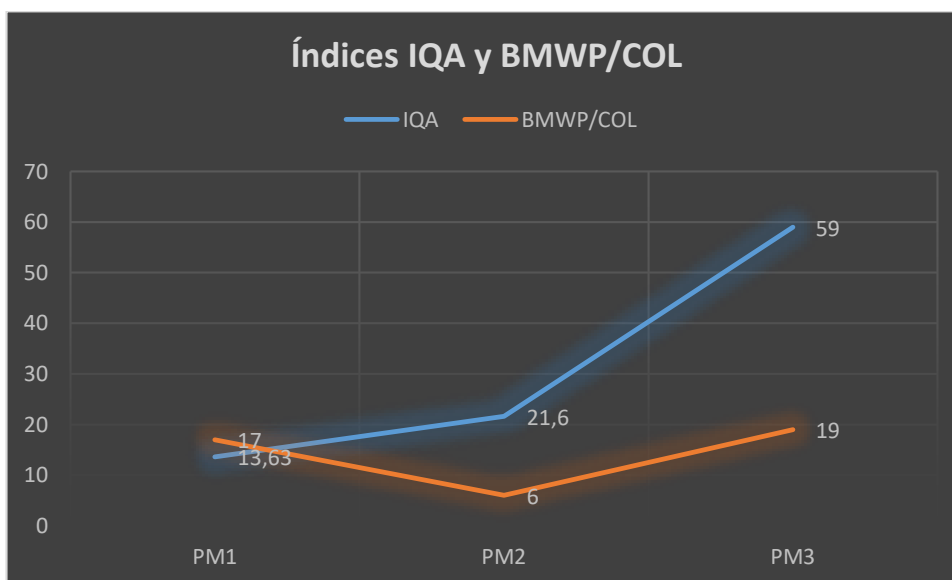


Figura 7. Relación entre índice IQA y BMWP/COL
Elaborado por: Cobos, L., 2018

Si comparamos los índices IQA y BMWP/COL observamos que son diferentes; inicialmente el BMWP/COL es superior al valor del IQA en el punto PM1; en el punto

PM2, el valor del índice IQA es superior al BMWP/COL y; finalmente el punto PM3, los valores del IQA son aún más altos en relación al BMWP/COL. Resultados que destacan el hecho de que los valores son diferentes, por lo que se debe aceptar la hipótesis nula (Ho).

En la Tabla 14, se establece que el coeficiente de correlación de Pearson es de 0,481, resultado que demuestra que existe una correlación positiva y además una relación directa en ambos índices de calidad.

Tabla 14 Comparación entre valores de calidad entre índice IQA y BMWP/COL

		IQA	BMWP/COL
IQA	Correlación de Pearson	1	0,481
	N*	3	3
BMWP/COL	Correlación de Pearson	0,481	1
	N*	3	3

Elaborado: Cobos, L.

Nota: * valores presentes

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS

5.1.1 Análisis fisicoquímicos

En la Tabla 15 se muestran los resultados medidos para los análisis físicos, químicos e hidrológicos (**Ver Anexo No. 6**).

Tabla 15 Resultados de los análisis fisicoquímicos de la calidad de agua

Parámetros	PM1	PM2	PM3
Altura (msnm) *	851	824	713
Longitud desde el punto anterior (m) *	1000	1000	1000
Ancho (m) *	6	8	7
Profundidad (cm) *	70	70	70
Temperatura °C *	18.5 °C	19.7 °C	21.3 °C
Potencial Hidrógeno **	6.88	7.07	7.33
Oxígeno disuelto (mg/l) **	8.4	8.34	8.49
DBO (mg/l) **	<4.75	<4.75	<4.75
DQO (mg/l) **	<10.00	<10.00	<10.00
Fosfatos (mg/l) **	<0.50	<0.50	<0.50
Amonio (mg/l) **	<1.00	<1.00	<1.00
Nitratos (mg/l) **	1.16	1.13	0.44
Nitritos (mg/l) **	<0.01	<0.01	<0.01
Dureza total (mg/l) **	49.46	38.67	51.14
Sólidos Totales **	0.05	0.13	0.08
Coliformes totales (ufc/100mL) **	510	1500	3200
Coliformes fecales (ufc/100mL) **	30	80	320

Elaborado: Cobos, L.

Nota: *Parámetros físicos medidos por técnicos de EPMAPA-SD.

** Parámetros físicos medidos en el Laboratorio de Suelos y Agua de la UPS, Sede Cayambe.

Los valores de temperatura determinados varían en forma significativa oscilando entre los 18.5 °C a 21.3 °C, y el lugar con mayor temperatura es el punto PM3 y, la

temperatura más baja se estableció en el punto PM1, lo cual está directamente relacionado con la altitud, lo cual es favorable para la abundancia de macroinvertebrados. Los valores de pH oscilan entre 6.88 a 7.3 lo cual se traduce en agua tipo neutro, debido al tipo de lecho en la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Lelia (PM1).

La dureza total determinada oscilo entre 38.67 y 51.14 mg/l, siendo el punto PM3 el de mayor valor y el punto PM2 el de valor menor (punto de captación de agua de la EPMAPA-SD). Los sólidos totales que se obtuvieron oscilaron entre 0.05 a 0.13 mg/l, resultados que reflejan un comportamiento irregular, es así que en el punto PM2 se alcanzó la mayor cantidad de sólidos totales.

Los valores de fosfatos se mantienen en niveles < 0.50 en los tres puntos de muestreo PM1, PM2 y PM3. La presencia de Amonio se obtuvo en iguales cantidades en los tres puntos PM1, PM2 y PM3 con valores < 1.00 . Los valores de nitratos oscilan entre 0.44 y 1.16 mg/l, siendo el punto PM1 el que registra el mayor valor y, el punto PM3 el de menor valor. Los nitritos presentan un valor constante en los tres puntos PM1, PM2 y PM3 de (< 0.01).

En todos los puntos se determinó un valor de oxígeno bajo, el cual no se relaciona con la temperatura, sino con la presencia destacada de coliformes fecales y totales (materia orgánica generada por el estiércol de los hatos ganaderos asentados a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Lelia). Los parámetros DBO y DQO son los más importantes en la caracterización (medición del grado de contaminación) de las aguas de la cuenca hidrográfica, y en el presente caso determinamos que la cantidad de

materia orgánica es igual en los tres puntos previamente seleccionados PM1, PM2 y PM3, con un valor < 4.75 mg/l.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de los microorganismos, en especial de las bacterias (aeróbicas o anaeróbicas) y otros que lo consumen durante la degradación de las materias orgánicas arrojadas por los hatos diferentes ganaderos asentados a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Lelia es significativa. La DQO expresó el grado de contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica del río Lelia en los tres puntos PM1, PM2 y PM3, las cuales se mantiene constantes en un rango < 10.00.

5.1.2 Cálculo índice IQA

En la Tabla 16 se detallan los valores determinados para el índice IQA. Resultados que han sido calculados en base a los parámetros detallados en la Tabla 13, y que al realizar las comparaciones respectivas obtenemos los rangos del índice IQA de cada punto de muestreo (PM1, PM2 y PM3).

Tabla 16 Cálculo del IQA

Puntos de Muestreo	IQA Calculado	Valor IQA (Rango)	Conversión	Significado
PM1	13,63	0 - 24	Rojo	Recurso hídrico muerto. Se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del recurso.
PM2	21,60			
PM3	59,00	51 - 70	Verde	Recurso hídrico regularmente contaminado. Agua regularmente contaminada.

Elaborado: Cobos, L.

Los valores del IQA en los puntos PM1 y PM2 son 13.63 y 21.60, respectivamente, que corresponden al rango de 0 – 24, y al realizar la conversión se ubican en el color

rojo que significa: Recurso hídrico muerto. Se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del recurso. En el punto PM3, el IQA calculado es de 59.00, que corresponde al rango de 51 – 70, que lo ubica en el rango de conversión color verde y significa: Recurso hídrico regularmente contaminado. Agua regularmente contaminada. Además, se presenta el mapa de calidad de agua, donde se aprecia detalladamente el lugar y el índice de calidad del IQA de los tres puntos de muestreo (Ver Anexo No. 1).

5.1.3 Cálculo del BMWP / COL

En la Tabla 17 se detalla el resultado del estudio realizado a las familias de macroinvertebrados en los puntos PM1, PM2 y PM3 que se encuentran localizados a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Lelia, región considerada como escenario para realizar el proyecto. Además, la relación de sensibilidad se presenta en el Anexo 5, donde se detallan las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP / COL. (Roldan 2013)

Tabla 17 Abundancia de Macroinvertebrados

PM1				
Orden	Familia	Observaciones	Abundancia	Cálculo de BMWP / COL
Diptera	Chironomidae	Exuvia	55	2
Ephemeroptera	Baetidae		15	7
Diptera	Simuliidae		1	8
Trichoptera	Smicridea		4	0
Total de Macroinvertebrados			75	17
PM2				
Orden	Familia	Observaciones	Abundancia	Cálculo de BMWP / COL
Trichoptera	Smicridea		5	0
Hemiptera	Nabidae		1	0
Coleoptera	Elmidae		1	6
Total de Macroinvertebrados			7	6
PM3				
Orden	Familia	Observaciones	Abundancia	Cálculo de BMWP / COL
Ephemeroptera	Baetidae	Exuvia	7	7
Diptera	Blepharicedae		1	10
Diptera	Chironomidae	Larvas	36	2
Total de Macroinvertebrados			44	19

Elaborado: Cobos, L.

En cuanto a abundancia de macroinvertebrados determinamos que en el punto PM1 se encontraron 75 macroinvertebrados, en el punto PM2 un total de 7 macroinvertebrados y, en el punto PM3 tenemos 44 macroinvertebrados, de los cuales, las especies y familias a las que pertenecen se detallan en la tabla anterior.

En la Tabla 17, acorde el BMWP/COL correspondería a los puntos PM1 (75) y PM3 (44) que son aguas muy contaminadas y, en el punto PM2 se encontraron aguas fuertemente contaminadas.

Respecto a la diversidad de familias de macroinvertebrados, en el punto PM1 observamos familias de Chironomidae, Baetidae, Simuliidae y Smicridea; en el punto PM2 tenemos familias de Smicridae, Nabidae y Elmidae; y, en el punto PM3 contamos con Baetidae, Blepharicidae y Chironomidae. Especies que han demostrado resistencia a niveles de contaminación orgánica fuertemente contaminados. Para una mejor apreciación se presenta el mapa de calidad de agua mediante el Índice BMWP/COL (Ver anexo No. 2).

5.2 DISCUSIÓN

La propuesta de investigación planteada se respalda en los enunciados investigativos presentados por (Villa, 2011), (Mancheno, 2015) y (Reascos, 2010), quienes por sus trabajos y resultados obtenidos en sus estudios coinciden que los parámetros más importantes para conocer la calidad de agua son los siguientes: temperatura, potencial hidrógeno, oxígeno disuelto, DBO, DQO, fosfatos, amonio, nitratos, nitritos, dureza total, sólidos totales, coliformes fecales y totales y, la abundancia y las familias de macroinvertebrados encontrados en los puntos PM1, PM2 y PM3 constituyen indicadores biológicos confiables.

La mayor cantidad y riqueza de macroinvertebrados la encontramos en los puntos PM1 y PM3, con 75 macroinvertebrados y 44 macroinvertebrados respectivamente resultados que están directamente relacionados con la calidad hidrográfica, debido a que los puntos de muestreo se encuentran localizados donde la actividad pecuaria cuenta con un gran número de hatos ganaderos que arrojan la materia fecal a las aguas del río Lelia, convirtiéndole en un sistema natural de eliminación de dichos desechos.

Las familias que encontramos en los puntos de muestreo (PM1, PM2 y PM3), son las siguientes: Chironomidae, Baetidae, Simuliidae, Smicridea, Nabidae, Elmidae y Blepharicedae, que pertenecen al grupo de organismos que fácilmente se adaptan a cualquier situación ambiental (Meza, 2012), de los cuales se encontraron pequeñas cantidades en la cuenca hidrográfica del río Lelia, debido a que las aguas son muy correntosas lo cual influye en la abundancia de macroinvertebrados.

La calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río Lelia según los índices IQA y BMWP / COL determinan que los puntos de muestreo PM1 y PM2 cuentan con una calidad de agua que va de crítica a muy crítica, en otras palabras, aguas muy contaminadas a aguas fuertemente contaminadas según lo indica (Soria, 2016), debido a que los indicadores concluyentes expresan que los índices biológicos determinados demuestran que estas aguas no debe ser utilizadas para satisfacer la demanda del cantón Santo Domingo, toda vez que sus características técnicas las categorizan como aguas no aprovechables para el uso y consumo humano. A parte, tenemos los análisis fisicoquímicos que nos indican que se trata de agua con un grado de contaminación orgánica fuerte.

Los sólidos totales en el punto PM2 presentan mayor cantidad de sólidos totales, ocasionando problemas en el sistema acuático (Arroyo, 2007). Dichos valores influyen en la presencia de las familias de macroinvertebrados y las cantidades encontradas en el análisis realizado en laboratorio.

Los parámetros fisicoquímicos que se calcularon han sido sometidos a comparaciones con los criterios de calidad que se detallan en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua entre el numeral 5.1.1.2. para consumo humano y uso doméstico y el numeral 5.1.2.2. para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario. (MAE, 2014)

Los valores detallados en la Tabla 15 (fosfato en los tres puntos de muestreo <0.50 ; amonio en los tres puntos de muestreo <1.0 ; pH PM1 6,88, PM2 7.07 y, PM3 7.33 y; nitratos PM1 1.16, PM2 1.13 y, PM3 0.44) no sobrepasan los límites establecidos por el TULSMA. Para mejorar la calidad del agua de la cuenca hidrográfica del río Lelia, es necesario reubicar los corrales construidos para el manejo de los hatos ganaderos junto a la ribera del río, a fin de evitar que este sea convertido en sistema de evacuación de residuos de materia orgánica y; por otro lado, se deben desarrollar actividades de capacitación a los ganaderos del sector, educación ambiental, reforestación con especies nativas del sector, y de esta manera protegemos las áreas adyacentes al sistema hídrico que abastece agua para el cantón Santo Domingo. (Márquez, 2016)

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los bioindicadores encontrados en los tres puntos de muestreo (antes, durante y después) del punto de captación de agua potable de la EPMAPA-SD en el río Lelia son bajos, lo cual significa que hay poca cantidad y diversidad de macroinvertebrados.
- La calidad de agua del río Lelia es calificada como aguas fuertemente contaminadas, lo cual es demostrado por los datos arrojados al aplicar el Índice BMWP / COL, y, el valor del IQA, los cuales coinciden que los puntos PM1 y PM2 son los más contaminantes.
- Los macroinvertebrados encontrados en los tres puntos de muestreo (PM1, PM2 y PM3) pertenecen a familias altamente resistentes a aguas fuertemente contaminadas.
- Los resultados de los análisis fisicoquímicos del IQA determinan que los puntos PM1 y PM2 tiene valores de 13.63 y 21.60, respectivamente, lo cual se traduce en una conversión en Rojo, que significa recurso hídrico muerto, que ha sobrepasado la capacidad de autodepuración y, el punto PM3 con un valor de 59,0, corresponde a conversión Verde, lo cual significa recurso hídrico regularmente contaminado.
- Los resultados del Índice de BMWP / COL en el punto PM1 es 17 según la sumatoria de los niveles de sensibilidad de Roldan 2013, igualmente el PM2 con un valor 6 y, PM3 con un valor de 19. Estos valores son el

producto de la sumatoria del puntaje de familias de macroinvertebrados acuáticos que se encuentran detallados en el Anexo No. 5.

- Los mapas de calidad de aguas determinaron que el punto PM1 es menor que en el punto PM3, debido a que la altura de la cuenca hídrica facilita la auto-depuración de la contaminación orgánica. El mapa de calidad del IQA y del BMWP / COL se encuentran detallados en los Anexos 1 y 2, con sus respectivos rangos de sensibilidad.
- Las familias de macroinvertebrados determinadas fueron: Chironomidae, Baetidae, Simuliidae, Smicridae, Nabidae, Elmidae y Blepharicedae. Organismos de fácil adaptación a la situación ambiental propia de la cuenca hídrica del río Lelia.

6.2 Recomendaciones

- En el aspecto del hábitat y equilibrio ecológico se recomienda a EPMAPA-SD no influir en el cauce del río o realizar actividades cercanas al mismo, ya que al parecer afecta directamente a la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados que habitan en el río Lelia.
- La EPMAPA-SD instale un punto de monitoreo de calidad de agua en puntos estratégicos del río Lelia o, cercanos al punto de captación, con la finalidad de realizar un monitoreo permanente para conocer la calidad del agua que se dirige al punto de captación.
- La EPMAPA-SD conjuntamente con la GAD Parroquial de Alluriquín contratar biólogos para hacer un estudio más exhaustivo, a fin de tener un compendio de las clases de macroinvertebrados existentes en la zona.
- Ya conocidos los valores del IQA y BMWP /COL, se recomienda a EPMAPA-SD capacitar a todos los propietarios de hatos ganaderos localizados dentro de la zona de la cuenca hidrográfica del río Lelia, a fin de implementar técnicas de eliminación de los residuos orgánicos, que permitan obtener compost, opción excelente a la hora de reutilizar desperdicios.
- A la EPMAPA-SD realice el mapeo total del río Lelia, para una mejor comprensión didáctica y técnica de las acciones encaminadas a garantizar la conservación de la calidad de sus aguas.
- Realizar estudios periódicos de la fauna acuática, a fin de tomar acciones encaminadas a la conservación de los bioindicadores utilizados en el control

de la calidad del agua destinada atender la demanda de la ciudad de Santo Domingo.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre. (2015). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*.
- APHA. (1989). *Standard Methods - For the Examination of Water and Wastewater*. España - Madrid: Díaz de Santos, S. A.
- Arroyo, D. (2007). *Evaluación de la calidad de agua de las fuentes hidrográficas del Bosque Protector Río Guajalito (BPRG) a través de la utilización de macroinvertebrados acuáticos*. Ecuador - Quito .
- Aznar, A. (2014). *Universidad Carlos III*. Obtenido de Determinación de los Parametros Físico-químicos de calidad de las aguas: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Biosfera, C. A. (22 de Junio de 2018). *Los macroinvertebrados de agua dulce como organismos indicadores de la calidad de las aguas*. Obtenido de <http://www.biosfera.es/los-macroinvertebrados-de-agua-dulce-como-organismos-indicadores-de-la-calidad-de-las-aguas/>
- Cañadas, L. (1983). *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. MAGPRONAREG. Ecuador - Quito.
- Carrera & Fierro. (2001). *Manual de monitoreo - Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Ecuador - Quito: EcoCiencia.

- Castro, M. &. (28 de octubre de 2014). Ingeniería Ambiental. *Indicadores de la Calidad del Agua: Evolución y Tendencias a Nivel Global*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Cebollero, P. (2018). *Escuela de Ingeniería y Medio Ambiente (EIMA)*. Obtenido de Estado ecológico de una masa de agua y elementos de calidad biológica: <http://eimaformacion.com/estado-ecologico-de-una-masa-de-agua-y-elementos-de-calidad-biologica/>
- Coello. (2014). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua en los rios Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocha - Parque Nacional Sangay - Ecuador. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 2.
- COLSAN. (2016). *Manual de Manejo de Cuencas Hidricas*. Obtenido de http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectogro2/Biblioteca/Bibliografia/M%F3dulo%204/manual_manejo_de_cuencas_modulo_1%5B1%5D.pdf
- Delacámara, G. &. (2018). *Libro Blanco de la Economía del Agua*. España: McGraw-Hill.
- Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente. (2014). *Informe Técnico de Inspección 006-UCA-DPASDT-2014*. Santo Domingo - Ecuador.
- Domingo, G. S. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2030*. Ecuador - Santo Domingo.
- Ebrard, M. & otros. (2013). *Agenda Ambiental de la Ciudad de México. Programa de Medio Ambiente 2007 -2012*. México, México.

Encalada, A. &. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos CERA-S*. Ecuador - Quito: V6M Gráficas.

Estratégica, C. E. (2014). *Proyecto Construcción, Operación y Mantenimiento Línea de Transmisión Sarapullo Alluriquin a 230 KV*. Obtenido de https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/EIA/Sarapullo%20%E2%80%93%20Alluriquin%20-%20Alluriquin%20EIA%20MAE.pdf

Federation, A. P. (1992). *Manual de Métodos Normalizados*. España - Madrid: Díaz de Santos.

Fernández, N. &. (2005). *Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Investigación en H2O calidad de agua*.

Forero, L. &. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la Cuenca del Río Negro. *Revista Biol. Trop.*

Google, E. (14 de abril de 2017). *Google Earth*. Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Leandro, H. &. (2014). Calidad del agua de los ríos de la microcuenca IV del Río Virilla. *Revista Uniciencia*.

Loné, P. (26 de Septiembre de 2016). *Comunidad ISM*. Obtenido de <http://www.comunidadism.es/blogs/%C2%BFque-es-un-indicador-ambiental>

- Lozano, L. (2015). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del Río Juan Jaramillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral Científico*.
- MAE. (julio de 2013). *Bosque Protector Cuenca del Río Lelia*. Obtenido de <http://chmecuador.ambiente.gob.ec/userfiles/37file/Bosques%20Protectores/PICHINCHA/BP%20LELIA-.pdf>
- MAE. (2014). *Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Auga*. Ecuador - Quito.
- Mancheno, G. &. (2015). *Evaluación de calidad de agua en la Quebrada Huarmiyacu del cantón Urcuquí, provincia de Imbabura para el prediseño de la planta de potabilización de agua para el consumo humano de las poblaciones de San Blas y Urcuquí*. Quito - Ecuador.
- Márquez, C. (18 de Diciembre de 2016). Chimborazo el agua vuelve a brotar en Guano. *El Comercio*.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales*. Madrid - España: McGraw-Hill.
- Meza, M. &. (2012). *Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del Río Chinchiná*. Colombia: Caldasia.
- Instituto Geografico Militar. (Junio de 2018). *Mercadotecnia*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/contactos/>

Ministerio de Medio Ambiente de España. (2000). *Libro Blanco de Agua de España*. España - Madrid: Editorial JACARIAN S. A.

Natural, U. M. (Diciembre de 2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales de Perú*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%C3%A9todos-de-Colecta-identificaci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-de-comunidades-biol%C3%B3gicas.compressed.pdf>

Norris, R. &. (2014). Monitoring river health. Hidrobiología. *UNIMAR*.

Organización de Naciones Unidas. (22 de Marzo de 2017). *La humanidad necesita agua*. Obtenido de <http://www.un.org/es/events/waterday/>

PAHO. (2017). *Aspectos biológicos de la calidad del agua - BVSDE*. Obtenido de www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap6.pdf

Pamplona, U. d. (2016). *Indicadores de agua*. Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf

Petro, A. &. (2014). *Evaluación de la calidad físicoquímica y microbiológica del agua del Municipio de Turbaco*. Colombia - Cartagena de Indias: Editorial Tecnológica Universitaria.

- Reascos, B. &. (2010). *Evaluación de la calidad del agua para el consumo humano de las comunidades del cantón Cotacachi y propuesta de medidas correctivas*. Ibarra - Ecuador.
- Rodríguez, C. (17 de Octubre de 2017). *Medio Natural y Biodiversidad* . Obtenido de Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua (Índice B.M.W.P): <https://www.emberizamedioambiente.es/noticia-medio-ambiente/macroeinvertebrados-acuaticos-como-indicadores-biologicos-de-la-calidad-del-agua-indice-bmwp>
- Roldan & Ramírez. (2013). *Fundamentos de Limnología neotropical*. Colombia - Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldan. (2013). *El método BMWP para Colombia*. Colombia - Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Organización Mundial de la Salud. (Julio de 2017). *Agua. Nota descriptiva*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- SENAGUA. (2009). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador*. Ecuador - Quito: Nacional.
- Sierra. (2013). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Colombia - Medellín: Ediciones de la U.
- Soria, I. (2016). *Evaluación de la calidad ecológica del río Jatunhuayco en la zona asociada a la captación Jatunhuayco (EPMAPS) utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua*. Ecuador - Quito.

Torres, V. &. (Enero de 2014). *Información General sobre el agua potable de Santo Domingo*. Obtenido de

<http://santodomingodeloscolorados.blogspot.com/2014/02/informacion-general-sobre-el-agua.html>.

Tuesca, R. &. (2015). *Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano: análisis de tendencia de variables para consolidar mapas de riesgo, el caso de los municipios ribereños del departamento del Atlántico*. Colombia - Barranquilla: Universidad del Norte.

UNESCO. (2008). *Water Quality for Ecosystems and Human Health*. Obtenido de La calidad del agua y los Objetivos de Desarrollo del Milenio: www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml

Valdes. (2014). Desarrollo de un indicador de la calidad de agua usando estadística aplicada, caso de estudio: subcuenca Zanjón Oscuro. *Revista Tecno Lógicas*.

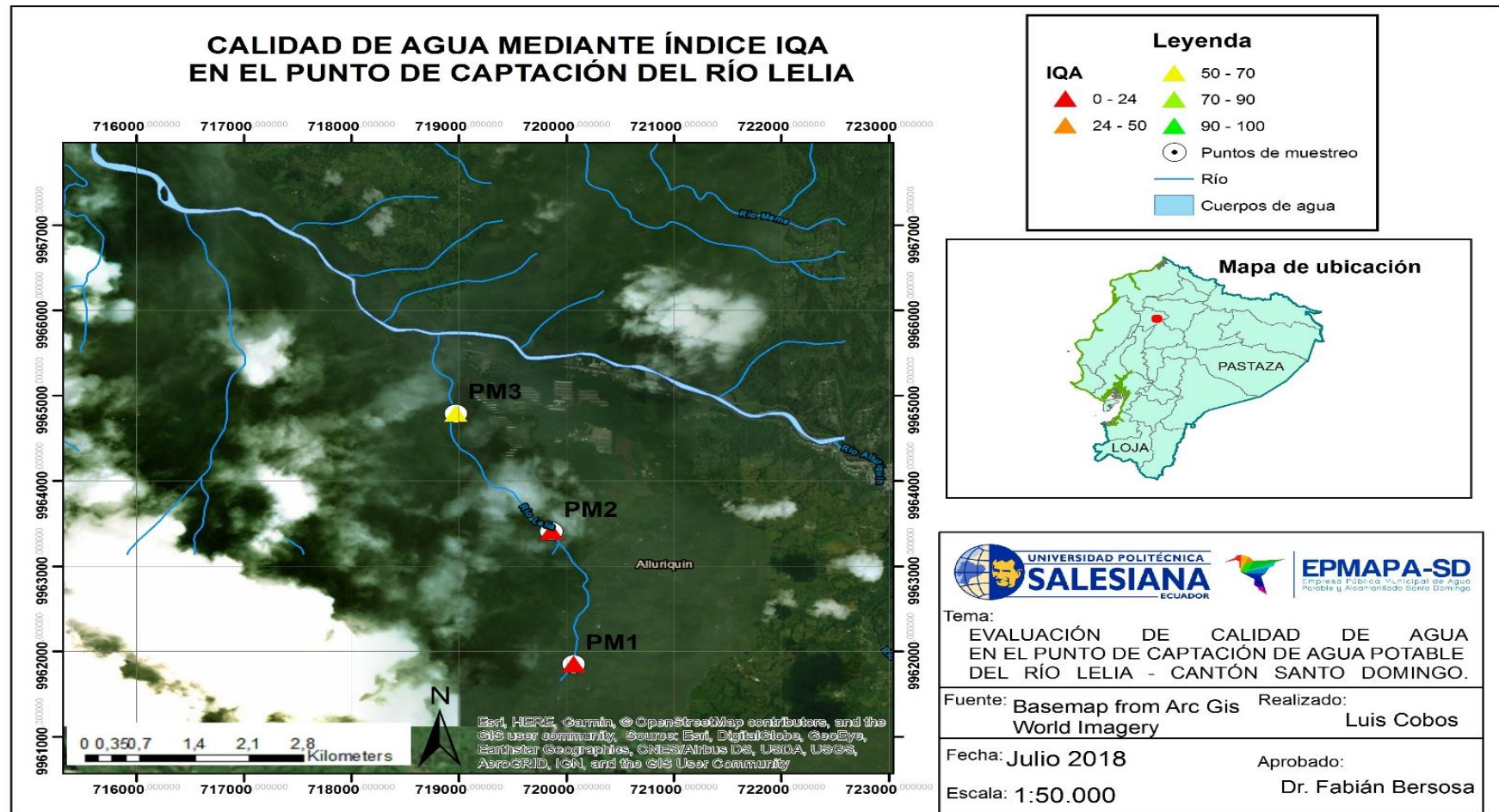
Vega, H. (2014). Pontificia Universidad Javeriana. *Propuesta Para Promover el Manejo Eficiente del Recurso Hídrico en la Microcuenca Alta del Río Botello en el Municipio de Facatativá, Desde el Marco de la Gestión Integral del Agua*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Velasco, B. (21 de septiembre de 2016). *30 ríos de Santo Domingo tienen un alto nivel de contaminación*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/rios-santodomingodelostsachilas-contaminacion-denuncia-ministeriodelambiente.html>

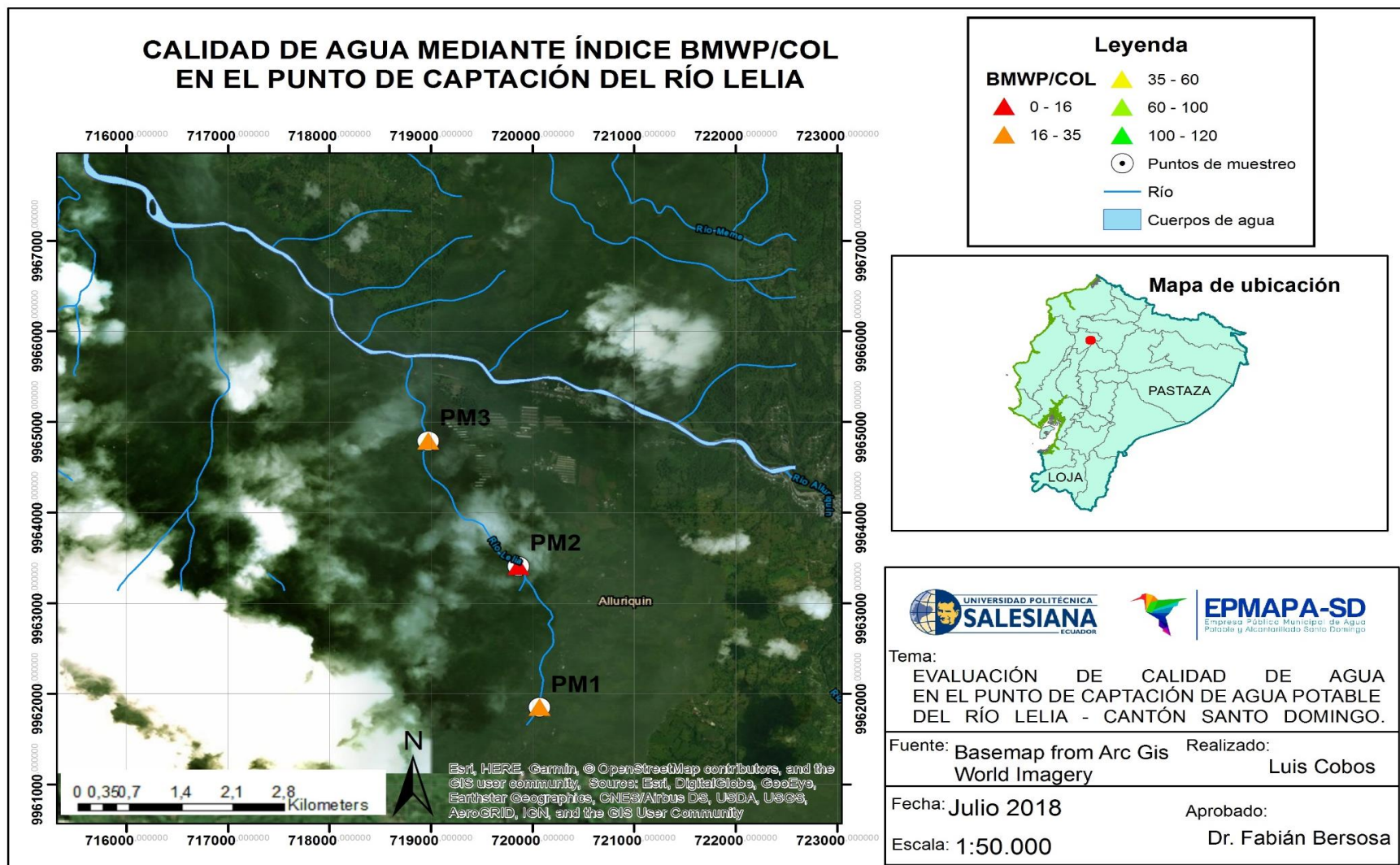
Villa, M. (2011). *Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca en el río Yacuambi. Propuestas de tratamiento y control de la contaminación*. Cádiz - España.

8 ANEXOS

Anexo 1 Mapa de Calidad de Agua con Índice IQA en el punto de captación del Río Lelia



Anexo 2 Mapa de Calidad de Agua con Índice BMWP / COL en el punto de captación del Río Lelia



Anexo 3 Registro fotográfico

Puntos de Muestreo



- A: Punto de muestreo # 1.
- B: Punto de muestreo #2.
- C: Punto de muestreo # 3.

Figura 8 Puntos de Muestreo
Elaborado por: Cobos L.

Zona del Rio Lelia



- A: Curso alto del Rio Lelia.
- B: Toma de Coordenadas en el Rio Lelia.
- C: Curso medio del Rio Lelia.
- D: Curso bajo del Rio Lelia.

Figura 9 Zona del Rio Lelia
Elaborado por: Cobos L.

Zona de Captación



A: Entrada a la Planta de Captación de Agua Potable del Rio Lelia.

B: Punto de Captación de la EPMAPA-SD en el Rio Lelia.

C: Tratamientos Primarios de la Planta de Captación.

D: Sistema de almacenamiento de agua para su tratamiento en la Planta de Agua Potable.

Figura 10 Zona de Captación

Elaborado por: Cobos L.

Materiales de Campo



A, B, C: Materiales de campo para realizar el muestreo

Figura 11 Materiales de Campo
Elaborado por: Cobos L.

Muestreo Realizado



- A: Recolección de macroinvertebrados mediante la red surber en el punto de muestreo # 2
B: Recolección de macroinvertebrados mediante la red surber en el punto de muestreo # 1
C: Recolección de muestras de agua en el punto de muestreo #2
D: Recolección de muestras de agua en el punto de muestreo # 1
E, F: Recolección de muestras de agua y macroinvertebrados en el punto de muestreo # 3

Figura 12 Muestreo realizado
Elaborado por: Cobos L.

Muestras



A: Muestras de Agua.

B: Muestras de macroinvertebrados.

Figura 13 Muestras

Elaborado por: Cobos L.

Materiales de Laboratorio



A, B: Materiales de limpieza de macroinvertebrados.
C, D: Instrumentos para la identificación de macroinvertebrados.

Figura 14 Materiales de limpieza e identificación de macroinvertebrados
Elaborado por: Cobos L.

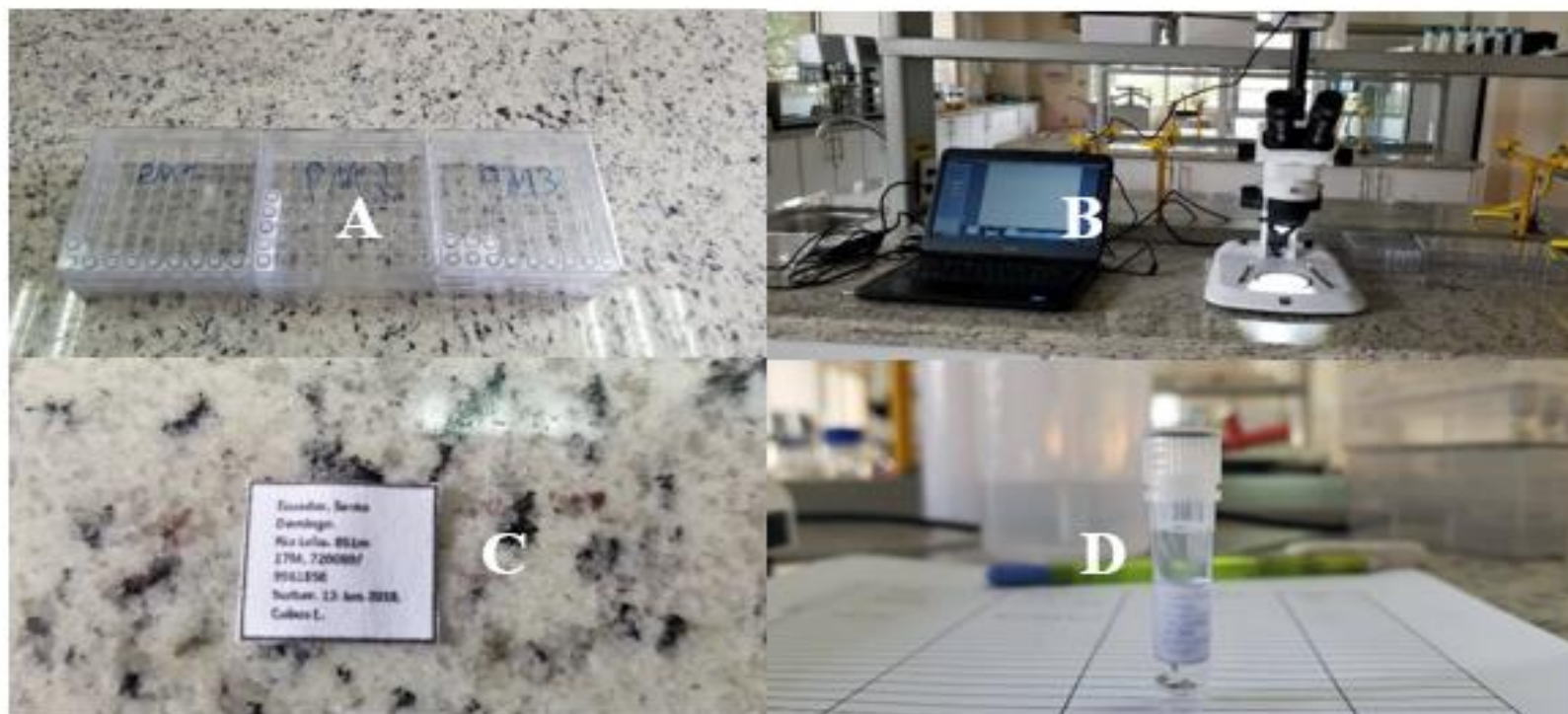
Fase de Laboratorio



A, B, C: Limpieza de las muestras de macroinvertebrados.
D, E, F: Separación de macroinvertebrados.

Figura 15 Limpieza de macroinvertebrados
Elaborado por: Cobos L.

Fase de Laboratorio



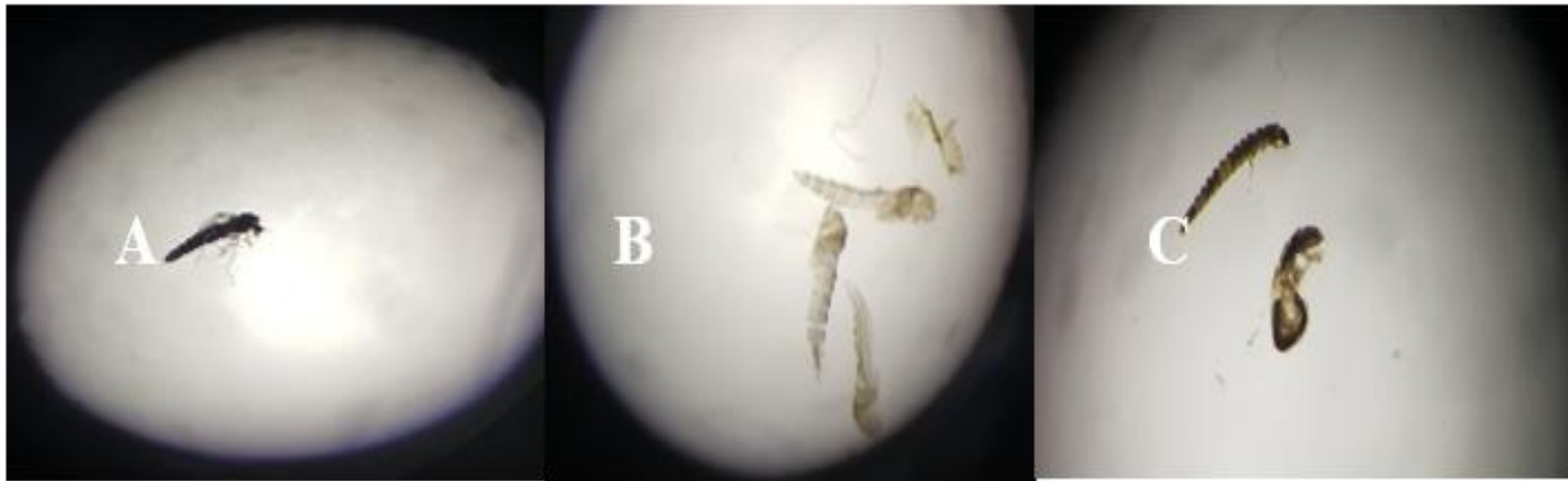
- A: Cajas con las muestras de macroinvertebrados.
- B: Software para la toma de fotos de macroinvertebrados.
- C: Etiquetas de muestras de macroinvertebrados.
- D: Microtubos con macroinvertebrados.

Figura 16 Identificación de macroinvertebrados
Elaborado por: Cobos L.

Anexo 4 Fotografía de macroinvertebrados



Macroinvertebrados



A: Diptera-Adulto

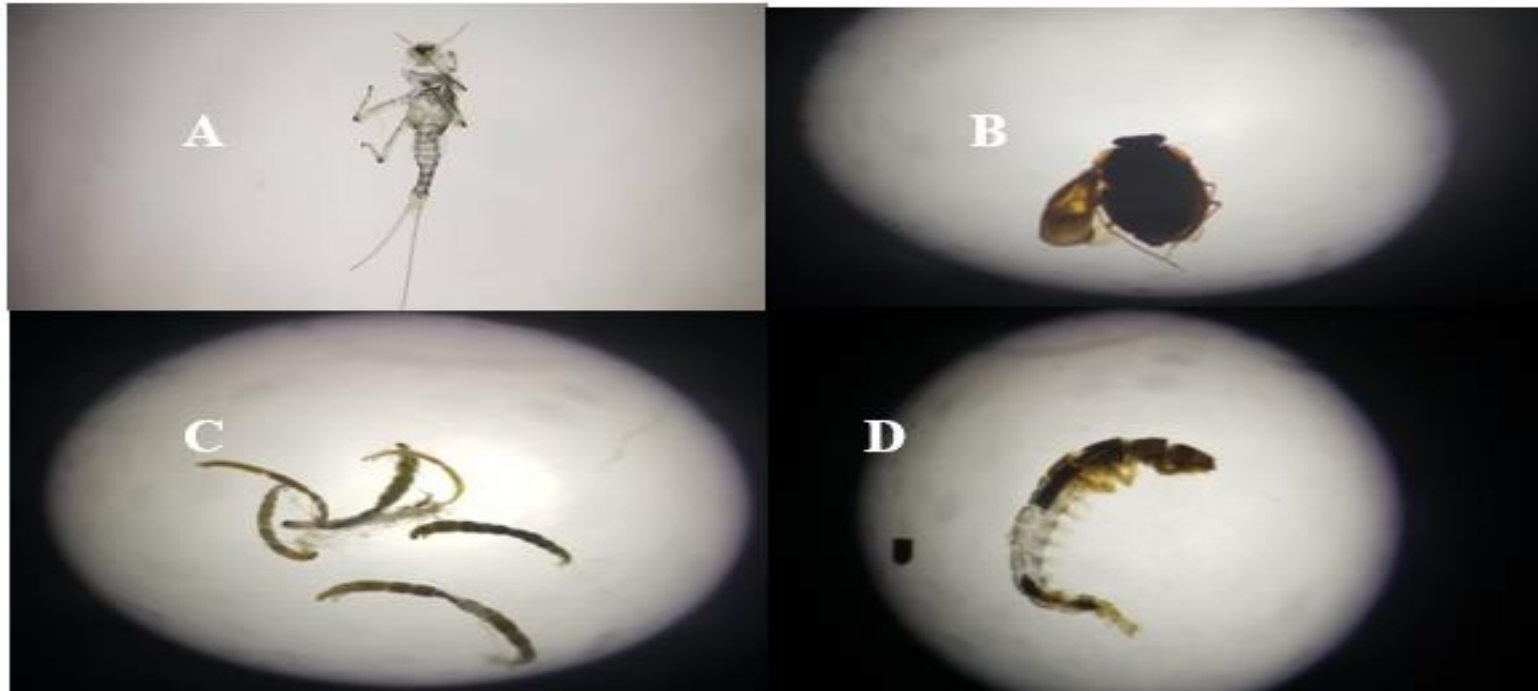
B: Exuvia-Diptera

C: Elmidae, Smicridae

Figura 18 Phyllum

Elaborado por: Cobos L.

Macroinvertebrados



A: Ephemeroptera

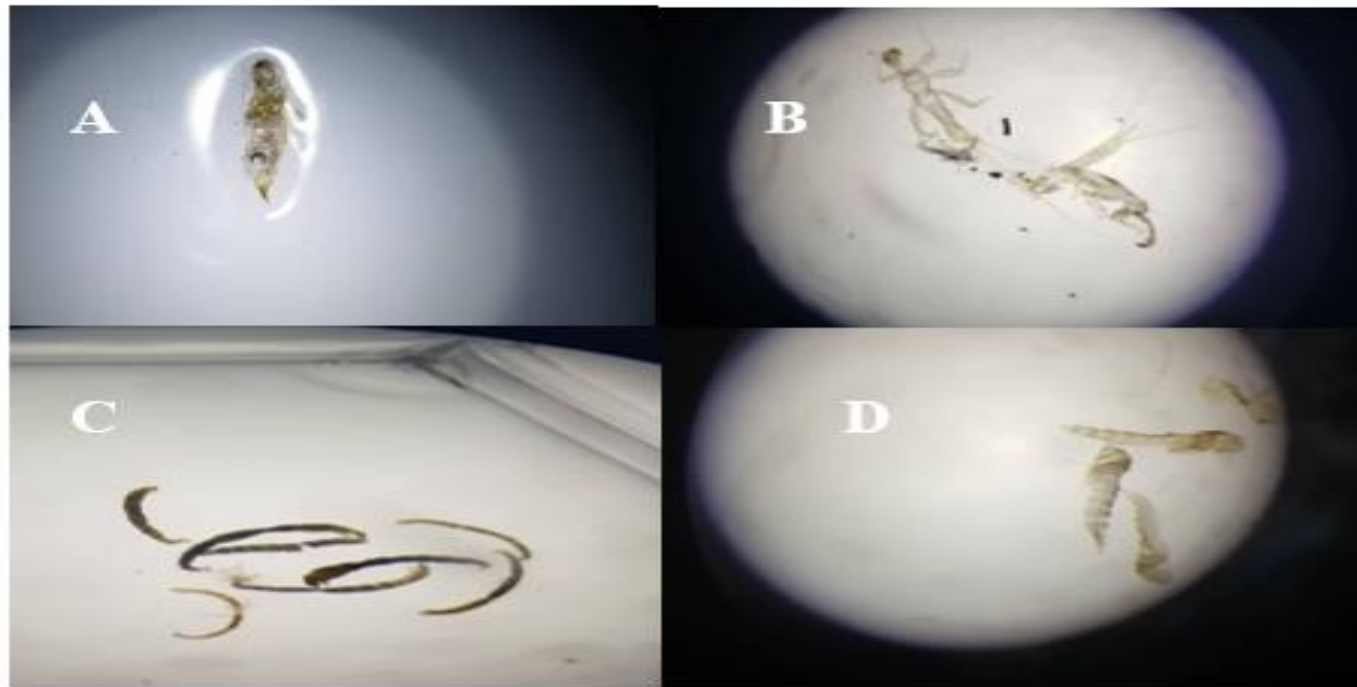
B: Hemiptera

C: Chironomidae

D: Trichoptera

Figura 19 Phylum
Elaborado por: Cobos L.

Macroinvertebrados




- A: Baetidae
- B: Exuvia- Ephemeroptera
- C: Diptera, Chironomidae
- D: Exuvia-Diptera

Figura 20 Phylum
Elaborado por: Cobos L.

Anexo 5 Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP / COL (Roldán, 2013).


Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessidae, Odontoceridae, Oligoneuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Amapullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Paleamonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopidae, Spharidae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae	2
Tubificidae	1

Anexo 6 Análisis fisicoquímicos



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR**

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA



**SALESIANOS
DON BOSCO**

Cliente: LUIS FELIPE COBOS RECALDE

Dirección: Río Zamora y Río Mataje

Contacto: Ing. Renato Sánchez

Cantidad de muestras: 1

Fecha de de ingreso: Junio 14, 2018

Característica de la Muestra: Agua

Telf/Cel.: 022-744-310

E-mail: luisf_cobosr@hotmail.com

Nº de Informe: 18226

Fecha Emisión: Junio 29, 2018

Fecha de Análisis: Junio 15 al 26, 2018

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	MUESTRA UNO 9H30	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio		LSA18-343	
Parámetros			
TEMPERATURA	°C	14,40	ELECTRÓNICO HANNA
POTENCIAL HIDRÓGENO	U pH	6,88	SM. 4500-H- A y 4500-H- 8
NITRITOS *	mg/L	< 0,01	SM. 4500-NO2 E
NITRATOS	mg/L	1,16	SM. 4500-NO3 C
AMONIO	mg/L	< 1,00	SM. 4500-NH3 C
FOSFATOS	mg/L	< 0,50	SM. 4500-P E
DUREZA TOTAL	mg/L	49,46	SM. 2111 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	0,05	SM. 2540 A y 2540 D
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	8,40	SM. 5220 B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	< 4,75	SM. 5210 B
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	< 10,00	SM. 5220 D
COLIFORMES TOTALES	nmp/100mL	510	SM 9221-C
COLIFORMES FECALES	nmp/100mL	30	

DATOS ADICIONALES:

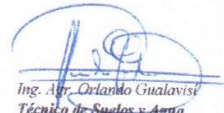
U pH: unidades; mg/L: miligramos por litro; nmp/100mL: número más probable cada cien mililitros.

(*) Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Ensayo ALS acreditado por la SAE con Acreditación N° GAE LE 2045-085.

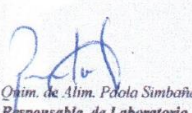
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th Edition. 2012. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA"

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE



Ing. Agr. Orlando Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua



Q. de Alm. Paola Simbaña
Responsable de Laboratorio

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (2) 3962946 / 3962800 ext. 2504-2534.
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrolab@ups.edu.ec

Figura 21. Análisis fisicoquímicos PM1.
Elaborado: Cobos, L.

Cliente: LUIS FELIPE COBOS RECALDE

Dirección: Río Zamora y Río Mataje

Contacto: Ing. Renato Sánchez

Cantidad de muestras: 1

Fecha de ingreso: Junio 14, 2018

Característica de la Muestra: Agua

Tel/Cel.: 022-744-310

E-mail: luist.cobosr@hotmail.com

N° de Informe: 18227

Fecha Emisión: Junio 29, 2018

Fecha de Análisis: Junio 15 al 26, 2018

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	MUESTRA DOS 11H30	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio Parámetros		LSA18-344	
TEMPERATURA	°C	13.90	ELECTRÓNICO HANNA
POTENCIAL HIDRÓGENO	U pH	7.07	SM. 4500-H+ A y 4500-H+ 8
NITRITOS *	mg/L	< 0.01	SM. 4500 NO2 E
NITRATOS	mg/L	1.13	SM. 4500-NO3 C
AMONIO	mg/L	< 1.00	SM. 4500-NH3 C
FOSFATOS	mg/L	< 0.50	SM. 4500-P E
DUREZA TOTAL	mg/L	38.67	SM. 2111 B
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	0.13	SM. 2540 A y 2540 D
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	0.34	SM. 5220 B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	< 4.75	SM. 5210 B
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	< 10.00	SM. 5220 D
COLIFORMES TOTALES	nmp/100ml.	1500	SM. 9221 C
COLIFORMES FECALES	nmp/100ml.	80	

DATOS ADICIONALES:

U pH: unidades; mg/L: miligramos por litro; nmp/100ml.: número más probable cada cien mililitros.

(*) Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Ensayo ALS acreditado por la SAE con Acreditación N° OAE LE 20.85-003

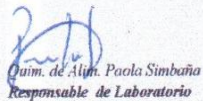
SM.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22a Edition, 2012. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA"

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE



Ing. Agr. Orlando Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua



Quím. de Alim. Paola Simbaña
Responsable de Laboratorio

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA



Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (02) 3962946 / 3962800 ext. 2504-2534.
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrofab@ups.edu.ec

Figura 22. Análisis fisicoquímicos PM2.
Elaborado: Cobos, L.

Ciente: LUIS FELIPE COBOS RECALDE

Dirección: Río Zamora y Río Mataje

Contacto: Ing. Renato Sánchez

Cantidad de muestras: 1

Fecha de ingreso: Junio 14, 2018

Característica de la Muestra: Agua

Telf/Cel: 022-744-310

E-mail: luifel_cobos@hotmail.com

Nº de Informe: 18228

Fecha Emisión: Junio 29, 2018

Fecha de Análisis: Junio 15 al 26, 2018

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	MUESTRA	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio		TRES 12H30	
Parámetros		LSA18-345	
TEMPERATURA	°C	14,20	ELECTRÓNICO HANNA
POTENCIAL HIDRÓGENO	U pH	7,33	SM. 4500-H+ A y 4500-H- S
NITRITOS *	mg/L	< 0,01	SM. 4500-NO ₂ -E
NITRATOS	mg/L	0,44	SM. 4500-NO ₃ -C
AMONIO	mg/L	< 1,00	SM. 4500-NH ₃ -C
FOSFATOS	mg/L	< 0,50	SM. 4500-P-E
DUREZA TOTAL	mg/L	51,14	SM. 2111-B
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	0,08	SM. 2540-A y 2540-D
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	8,49	SM. 5220-B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	< 4,75	SM. 5210-B
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	< 10,00	SM. 5220-D
COLIFORMES TOTALES	nmp/100mL	3200	SM. 9221-C
COLIFORMES FECALES	nmp/100mL	320	

DATOS ADICIONALES:


U pH: unidades: mg/L, miligramos por litro; nmp/100mL: número más probable cada cien mililitros.


(*) Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ensayo ALS acreditado por la SAE con Acreditación N° OAE 15 2625-003.

SA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th Edition, 2012 - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION "APHA"

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE


Ing. Agr. Orlando Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua


Quím. de Alim. Paola Simbaña
Responsable de Laboratorio



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (0) 3962946 / 3962800 ext. 2504-2534.
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrolab@ups.edu.ec

Figura 23. Análisis físicoquímicos PM3.
Elaborado: Cobos, L.